

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA CIVIL E INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE PILOTES FUNDIDOS IN SITU,
UTILIZANDO PRUEBAS DE CARGA Y METODOLOGÍAS DE CÁLCULO BASADOS EN
LOS ENSAYOS SPT Y CPT**

AUTORES:

**ALMEIDA RODRÍGUEZ NANCY GARDENIA
VARGAS BENAVIDES BRYAN ANDRÉ**

TUTOR:

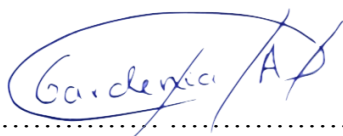
JOSÉ DOMINGO ALVIAR MALABET

QUITO, marzo del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Nancy Gardenia Almeida Rodríguez, con documento de identificación N° 1500899503 y Bryan André Vargas Benavides con documento de identificación N° 1723650972, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE PILOTES FUNDIDOS IN SITU, UTILIZANDO PRUEBAS DE CARGA Y METODOLOGÍAS DE CÁLCULO BASADOS EN LOS ENSAYOS SPT Y CPT, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Nancy Gardenia Almeida
Rodríguez
Cédula: 1500899503



Nombre: Bryan André Vargas
Benavides
Cédula: 1723650972


Quito, marzo del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, José Domingo Alviar Malabet declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo académico: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE PILOTES FUNDIDOS IN SITU, UTILIZANDO PRUEBAS DE CARGA Y METODOLOGÍAS DE CÁLCULO BASADOS EN LOS ENSAYOS SPT Y CPT, realizado por Nancy Gardenia Almeida Rodríguez y Bryan André Vargas Benavides, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2020

Atentamente



.....
José Domingo Alviar Malabet

C.I: 1757837602

COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE PILOTES FUNDIDOS IN SITU, UTILIZANDO PRUEBAS DE CARGA Y METODOLOGÍAS DE CÁLCULO BASADOS EN LOS ENSAYOS SPT Y CPT

COMPARISON OF THE BEARING CAPACITY OF PILES CAST IN PLACE, USING LOAD TESTS AND CALCULATION METHODOLOGIES BASED ON SPT AND CPT TESTS

Nancy Almeida-Rodríguez ¹, Bryan Vargas-Benavides²

Resumen

El Presente artículo tuvo como fin realizar la comparación de las diferentes metodologías de cálculo, y estimar el método que más se ajusta a la prueba de carga realizada en pilotes haciendo uso de la norma ASTM D1143-8. Los datos de la investigación se obtuvieron de estudios preliminares del sitio (ensayo de SPT) y ensayos de relaciones fundamentales realizados en suelos del lugar, los cuales corresponden a la provincia de Pichincha en el sur de Quito del barrio “El Garrochal”.

Las propiedades fundamentales fueron caracterizadas y clasificadas en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana. Estas son: clasificación SUCS, límite líquido (L_L), límite plástico (L_P), índice de plasticidad (I_P), porcentaje de humedad (%w). Ensayo de penetración estándar (SPT) fue realizado por la Universidad Politécnica Salesiana, ensayo de penetración del cono (CPT) y prueba de carga en pilotes por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Cabe destacar que los ensayos mencionados se realizaron bajo la participación y supervisión de los autores del presente artículo académico. Como resultado se obtuvo, que el método de cálculo que más se aproxima a los resultados de la

Abstract

The purpose of this article was to make the comparison of the different calculation methodologies, and estimate the method that best suits the pile load test using the ASTM D1143-81 standard. The data were obtained from preliminary studies of the site (SPT test) and trials of fundamental relationships carried out in local soils, which correspond to the province of Pichincha in the south of Quito of the neighborhood "El Garrochal".

The fundamental properties of the samples taken on site were obtained, which were characterized and classified in the laboratories of the Salesian Polytechnic University; such as: SUCS classification, liquid limit (LL), plastic limit (LP), plasticity index (IP), humidity percentage (% w). Field tests such as: standard penetration test (SPT) conducted by the Salesian Polytechnic University, cone penetration test (CPT) and pile load test; carried out by the Pontifical Catholic University of Ecuador (PUCE). It should be noted that the aforementioned essays were conducted under the participation and supervision of the authors of this academic article. As a result, it was obtained that the calculation method that best approximates the

¹ Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

² Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: nalmeida@est.ups.edu.ec ; bvargasb@est.ups.edu.ec

carga de falla derivado de las pruebas de carga para los pilotes excavados y fundidos en sitio es el Método de Meyerhof y Meyerhof SPT, el cual produjo un porcentaje de error comprendido entre 6 % y 35 %.

results of the failure load derived from the load tests for piles cast in place is the Meyerhof and Meyerhof SPT Method, which produced a percentage of error between 6% and 35%.

Palabras Clave: CPT, humedad, Límite líquido, límite plástico, prueba de carga pilotes, SPT.

Keywords: CPT, humidity, Liquid limit, plastic limit, pile load test, SPT.

1. Introducción

La importancia de la investigación se sitúa en evaluar las diferentes metodologías propuestas por varios autores; tomadas como base para estimar la capacidad portante de los pilotes y realizar un análisis comparativo en la determinación del método de cálculo que más se ajuste a la prueba de carga.

Al obtener las propiedades fundamentales de las muestras alteradas del ensayo de SPT, se determinó que el suelo del sitio de estudio posee características muy diferentes, en cuanto a su tipología y propiedades mecánicas (cohesión y fricción) las cuales se han utilizado como base en el diseño de pilotes. Como se sabe, los pilotes son elementos estructurales que reciben las cargas y las transfieren al suelo a través de toda su longitud.

Para las diferentes metodologías de cálculo se tomó como bases las siguientes ecuaciones.

1.1. Ecuación general de la carga última de un pilote [1]

Se presenta la ecuación (1).

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

Donde:

Q_u = Carga última del pilote.

Q_p = Carga de la punta del pilote.

Q_s = Carga por fricción o adherencia.

1.2 Carga última de la punta (Q_p)

Se presenta la ecuación (2).

$$Q_p = q_p * A_p \quad (2)$$

Donde:

q_p = Capacidad de carga unitaria de la punta del pilote.

A_p = Área transversal del pilote.

1.3. Carga última por fricción (Q_s)

Se presenta la ecuación (3).

$$Q_s = \pi * D * \Delta h * \sum q_s \quad (3)$$

Donde:

q_s = Resistencia unitaria por fricción o adherencia a cualquier profundidad z .

D = diámetro del pilote.

Δh = Longitud incremental del pilote.

1.4. Método de Meyerhof [1] [2]

1.4.1. Capacidad por punta (q_p)

1.4.2. Arenas

Se presenta la ecuación (4).

$$q_p = q' * N_q \leq 0,5 N_q * \tan \phi \quad (4)$$

Donde:

q_p = Capacidad de carga unitaria de la punta.

q' = Esfuerzo vertical efectivo a nivel de la punta del pilote.

N_q = Factor de capacidad de carga en función del ángulo de fricción.

ϕ = ángulo de fricción del suelo.

De acuerdo con el método de Meyerhof [2] el valor de N_q para pilotes excavados y fundidos en sitio corresponde a 1/3 de los valores de N_q de pilotes hincados como se muestra en el Anexo 2.

1.4.3. Arcillas

Se presenta la ecuación (5).

$$q_p = N_c * c_u = 9 * c_u \quad (5)$$

Donde:

c_u = Cohesión no drenada del suelo debajo de la punta del pilote.

N_c = Factor de capacidad de carga.

1.4.4. Capacidad por fricción (q_s)

1.4.5. Arenas

Se presenta la ecuación (6).

$$q_s = k_o * q' * \tan \delta \quad (6)$$

Donde:

k_o = coeficiente de presión de tierra.
en reposo.

q' = esfuerzo vertical efectivo a la
profundidad en consideración.

δ = ángulo de fricción suelo – pilote.

ϕ = ángulo de fricción suelo.

Se presenta la ecuación (7).

$$\delta = 0,8 * \phi \quad (7)$$

Para obtener el valor promedio de coeficiente de k_o se recomienda utilizar la ecuación que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Coeficiente de empuje de tierra en reposo Meyerhof.

Tipo de Pilote	K_o
Excavados y fundidos en sitio	$k_o = 1 - \sin \phi$

(Fuente: Meyerhof) [1] [2]

1.4.6. Método α

1.4.7. Arcillas

Se presenta la ecuación (8).

$$q_s = \alpha * c_u \quad (8)$$

Donde:

q_s = Resistencia unitaria por fricción
o adherencia a cualquier profundidad.

α = Factor empírico de adhesión.

c_u = Cohesión no drenada del suelo.

Se muestra la Figura 1 en donde se determina el coeficiente de adhesión con la cohesión no drenada c_u .

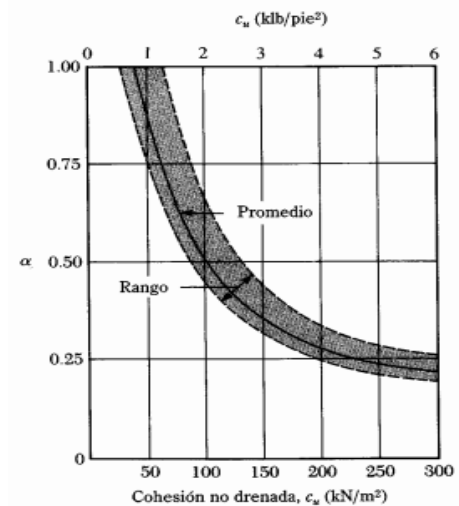


Figura 1. Coeficiente de adhesión.

(Fuente: Meyerhof) [1] [2]

1.5. Método API [3]

1.5.1. Capacidad por punta (q_p)

1.5.2. Arenas

Se presenta la ecuación (9).

$$q_p = q' * N_q \quad (9)$$

Donde:

q' = presión efectiva de sobrecarga
en la punta del pilote.

N_q = Factor de capacidad de carga
en función del ángulo de fricción
(ver tabla Anexo 3).

1.5.3. Arcillas

Se presenta la ecuación (10).

$$q_p = 9 * c_u \quad (10)$$

Donde:

q_p = capacidad de carga unitaria de
la punta.

c_u = Cohesión no drenada del suelo
debajo de la punta del pilote.

1.5.4. Capacidad por fricción (q_s)

1.5.5. Arenas

Se presenta la ecuación (11).

$$q_s = k_o * q' * \tan \delta \quad (11)$$

Donde:

k_o = coeficiente de presión de tierra.
en reposo.

q' = esfuerzo vertical efectivo a la
profundidad en consideración.

δ = ángulo de fricción suelo – pilote.

ϕ = ángulo de fricción suelo.

Se presenta la ecuación (12).

$$\delta = \phi - 5^\circ ; \leq 35^\circ \quad (12)$$

Se muestra en la Tabla 2 el coeficiente de empuje de tierra en reposo K_o .

Tabla 2: Coeficiente de empuje de tierra en reposo API.

Tipo de Pilote	K_o
Pilote hincado con tapón	$k_o = 1,00$
Pilotes abiertos hincados sin tapón	$k_o = 0,80$

(Fuente: API) [3]

Nota: Se toma el mismo concepto de Meyerhof para el cálculo del coeficiente de presión de tierra en reposo k_o ; dado que el método API no posee los coeficientes para pilotes excavados y vaciados en sitio. Por lo que: Se presenta la ecuación (13).

$$k_o = 1 - \sin \phi \quad (13)$$

1.5.6. Arcillas

Se presenta la ecuación (14).

$$q_s = \alpha * c_u \quad (14)$$

Donde:

q_s = Resistencia unitaria por
fricción o adherencia a cualquier
profundidad z .

α = Factor empírico de adhesión.

c_u = Cohesión no drenada del suelo.

Se presenta la ecuación (15) y (16).

$$\alpha = 0.5\psi^{-0.5} \text{ si } \psi \leq 1 \quad (15)$$

$$\alpha = 0.5\psi^{-0.25} \text{ si } \psi > 1 \quad (16)$$

Con la restricción que $\alpha \leq 1$

Donde:

$\psi = c_u / q'$ para la profundidad
de interés.

q' = esfuerzo efectivo.

c_u = resistencia al corte sin drenar
de la arcilla.

1.6. Método FHWA [4]

1.6.1. Capacidad por punta (q_p)

1.6.2. Arenas

Se presenta la ecuación (17).

$$q_p = 0,60 * N_{60} \leq 30 \text{ tsf} \quad (17)$$

Donde:

q_p = capacidad de carga unitaria de
la punta [tsf].

N_{60} = Número de golpes SPT.

1.6.3. Arcillas

Se presenta la ecuación (18).

$$q_p = 9 * c_u \quad (18)$$

Donde:

q_p = capacidad de carga unitaria de la punta.

c_u = Cohesión no drenada del suelo debajo de la punta del pilote.

1.6.4. Capacidad por fricción (q_s)

1.6.5. Arenas

Se presenta la ecuación (19), (20), (21).

$$q_s = k_o * q' * \tan \phi \quad (19)$$

$$k_o = (1 - \sin \phi) * \left(\frac{q_p'}{q'} \right)^{\sin \phi} \quad (20)$$

$$q_p' = 0,47 * N_{60}^{0,80} * Pa \quad (21)$$

Donde:

k_o = coeficiente de presión de tierra en reposo.

q' = esfuerzo vertical efectivo a la profundidad en consideración.

q_p' = esfuerzo de preconsolidación.

ϕ = ángulo de fricción del suelo.

Pa = presión atmosférica.

N_{60} = Número de golpes SPT.

1.6.6. Arcillas

Se presenta la ecuación (22).

$$q_s = \alpha * c_u \quad (22)$$

Donde:

q_s = Resistencia unitaria por fricción o adherencia a cualquier

profundidad.

α = Factor empírico de adhesión.

c_u = Cohesión no drenada del suelo.

$$\begin{aligned} & \text{(hasta } z = 1,50 \text{ m)} \\ & \alpha = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\alpha = 0,55 \quad \text{si } \frac{c_u}{Pa} \leq 1,50 \quad (24)$$

$$\alpha = 0,55 - 0,10 * \left(\frac{c_u}{Pa} - 1,50 \right) \quad (25)$$

$$\text{si } 1,50 \leq \frac{c_u}{Pa} \leq 2,50 \quad (26)$$

1.7. Método LCPC/ LCP [5]

1.7.1. Capacidad por fuste

$$q_s = \alpha * q_c \quad (27)$$

q_c = Resistencia de la punta del cono.

α = Coeficiente de fricción en el fuste del pilote.

1.7.2. Arenas

Se muestra la Figura 2 en donde se encuentran los coeficientes de fricción para arenas.

PILOTES	α_s
Pilote clavados prefabricado dirigido o de acero	0.010
Pilote Fanki	0.014
Pilote clavado de madera	0.012
Vibración	0.012
Pilotes puestos en sitio con tornillos	0.009
Pilotes prefabricados de tornillos	0.009
Pilotes puestos en sitio con tornillos con grouting adicional	0.006
Pilotes prefabricados de tornillos con grouting adicional	0.006
Pilote de acero tubular	0.0075
Flight Auger continuo (CFA)	0.006
Pilote perforado o pilote recubierto por bentonita	0.006
Pilote perforado con cáscara de acero	0.005

Figura 2. Coeficiente α para Arenas.

Fuente: Bustamante y Gianceselli (1982)

1.7.3. Limos y Arcillas

Se muestra la Figura 3 los coeficientes para Limos y Arcillas.

LCPD	q_c	α_s para pilotes del tipo "A"	α_s para pilotes del tipo "B"	resistencia máxima del fuste
Tipo de suelo	q_c MPa			kPa
Arcilla	$q_c < 1$	0.033	0.033	15
	$1 < q_c < 5$	0.025	0.011	35
	$5 < q_c$	0.017	0.008	35
Arena	$q_c < 5$	0.010	0.008	35
	$5 < q_c < 12$	0.010	0.005	80
	$12 < q_c$	0.006	0.005	120

Figura 3. Coeficiente α para Limos y Arcillas.

Fuente: Bustamante y Gianselli (1982)

Se muestra la Figura 4 donde se encuentran los coeficientes de fricción para Limo y Arcillas.

TIPO DE SUELO	Q_c (MPa)	α_s
Arcilla	>3	<0.030
Arcilla	<3	<0.020
Limo		<0.025

Figura 4. Coeficiente α para Limos y Arenas.

Fuente: Bustamante y Gianselli (1982)

1.8. Método SPT Meyerhof [2]

1.8.1. Capacidad por fuste y punta (Arenas)

Se muestra en la Tabla 3, los coeficientes K_s y K_b para arenas.

Tabla 3: Coeficiente K_s y K_b para Arena.

Coeficientes	Arena
K_s	0,01
K_b	1,20

Se presenta la ecuación (28) y (29).

$$q_s = k_s * N_{160} [tsf] \quad (28)$$

$$q_p = k_b * N_{160} [tsf] \quad (29)$$

Donde:

q_s = Resistencia unitaria por fricción

o adherencia a cualquier profundidad.

k_s = Coeficiente para capacidad por fricción.

k_b = Coeficiente para capacidad por punta.

N_{60} = Número de golpes SPT.

1.8.2. Capacidad por punta (Arcillas)

Nota: El método Meyerhof SPT fue diseñado para arenas, por lo tanto se toma el método Meyerhof para el caso de limos y arcillas en la capacidad por punta del diseño de pilotes. Por lo tanto: Se presenta la ecuación (30).

$$q_p = N_c * c_u = 9 * c_u \quad (30)$$

Donde:

c_u = Cohesión no drenada del suelo debajo de la punta del pilote.

N_c = Factor de capacidad de carga.

1.8.3. Capacidad por fricción (Arcillas)

Nota: El método Meyerhof SPT fue diseñado para arenas, por lo tanto se toma el método α para el caso de limos y arcillas, en la capacidad por fuste del diseño de pilotes. Por lo tanto: Se presenta la ecuación (31).

$$q_s = \alpha * c_u \quad (31)$$

Donde:

q_s = Resistencia unitaria por fricción o adherencia a cualquier profundidad.

α = Factor empírico de adhesión.

c_u = Cohesión no drenada del suelo.

2. Materiales y Métodos

La investigación, consiste en el análisis de las muestras recuperadas del ensayo de SPT posteriormente clasificadas y ensayadas en el laboratorio para determinar las propiedades fundamentales para el diseño de pilotes.

Para determinar la carga última tanto de fuste como de punta para el diseño de pilotes por distintas metodologías de cálculo, las cuales hacen uso de los parámetros del suelo (cohesión y ángulo de fricción); inicialmente, se propuso utilizar los valores que resultaran de la resistencia de punta del cono (q_c) en correlaciones que permitan determinar los valores de cohesión no drenada (C_u) [6][[7].

Sin embargo, el equipo de CPT con el cual se contó para realizar el estudio no tuvo la capacidad suficiente para alcanzar la profundidad en la cual se encontraba la punta de los pilotes y su penetración se limitó a una profundidad en el sitio de estudio 1 de 4,20 m y en el sitio de estudio 2 de 6,00 m, además de mostrar incongruencias en los tipos de suelos al compararlos con los recuperados del SPT; cabe mencionar que el ensayo de SPT y CPT fueron realizados antes de que se coloque el relleno.

En ese sentido, se decidió utilizar la correlación del número de golpes vs. la cohesión no drenada (C_u) que se muestra en la Figura 5 [8].

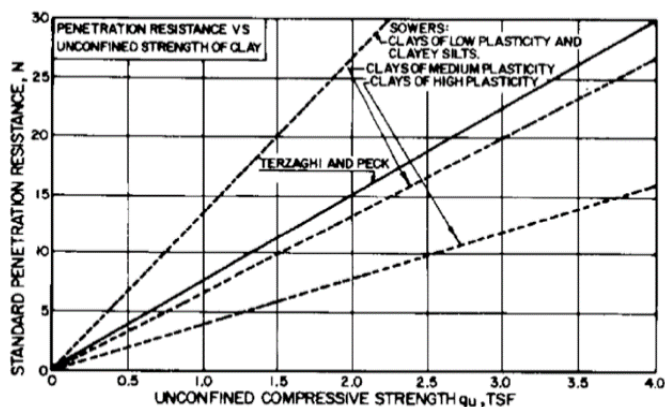


Figura 5. Correlación entre número de golpes y C_u . NAVFAC DM-7 Correlación entre número de golpes y C_u . NAVFAC DM-7 [8].

Por otra parte para obtener el ángulo de fricción en los suelos granulares se utilizó la ecuación de Wolf [9]: Se presenta la ecuación (32).

$$\phi = 27,1 + (0,3 * N1_{60}) - (0,00054 * N1_{60}^2) \quad (32)$$

Donde:

ϕ = Ángulo de fricción

$N1_{60}$ = Número de golpes SPT corregido por energía y confinamiento.

Nota: Debido a que existen diversas correlaciones para la determinación del ángulo de fricción y la cohesión, se debe tener cuidado al hacer su uso, por lo que las correlaciones utilizadas en este estudio se consideran apropiadas porque existe correspondencia entre los resultados derivados de las pruebas de carga y las metodologías utilizadas para el cálculo de la capacidad portante de pilotes.

En este estudio se calculó la capacidad de carga tanto de fuste como de punta mediante las siguientes metodologías propuestas: Meyerhof, API, FHWA, LCPC/CP, Meyerhof SPT. Cabe recalcar que todas las metodologías utilizadas, son para pilotes excavados y fundidos in situ con las particularidades de lo mencionado en el Capítulo 1.

Por otro lado, en el ensayo de la prueba de carga se utilizó un sistema de reacción; en el cual hubo la necesidad de asegurar la conexión con la viga, que sirve como soporte ante la acción de la aplicación de la carga, previamente calculada por las metodologías propuestas por diferentes autores en el diseño de pilotes.

2.1. Sitio de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la provincia de Pichincha en el sur de Quito en el barrio "El Garrochal" en el conjunto habitacional Terranova etapa 4, la cual se puede visualizar en la Figura 6 y 7.



Figura 6. Ubicación del sitio de estudio y ensayo.



Figura 7. Ubicación del sitio de estudio y ensayo.

2.2. Exploración geotécnica

Para llevar a cabo la exploración geotécnica se realizaron dos ensayos de SPT utilizando la norma ASTM D 1586-11 identificados como SPT 1 y SPT 2, dos pruebas de cono CPT utilizando la norma ASTM D 3441 identificados como CPT 1 y CPT 2 y cuatro pruebas de carga en pilotes identificados como: P1, P2, P3 y P4 utilizando la norma ASTM D1143-81. La ubicación de los sondeos y de los sitios de pruebas de carga se muestran en la Figura 8.



- SPT 1 ● SPT 2 ★ P1 ☆ P3
- CPT 1 ● CPT 2 ★ P2 ★ P4

Figura 8. Ubicación de SPT1, SPT2, CPT1, CPT2 y las pruebas de carga P1, P2, P3 y P4.

Las muestras recolectadas del ensayo SPT fueron llevadas al laboratorio para realizar los ensayos de límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico), clasificación SUCS, contenido de humedad, ensayo de ignición para contenido orgánico. Todos los ensayos mencionados anteriormente fueron realizados de acuerdo con las normas ASTM detalladas en la Tabla 4. Una vez caracterizadas las muestras se obtuvo el resumen de los valores de los datos que se reportan en la tabla del Anexo 1.

Tabla 4: Ensayos & Normas

Descripción	Norma
Contenido de humedad en suelo	ASTM D 2216
Límite Líquido	ASTM D 4318
Límite Plástico	ASTM D 4318
Ensayo Granulométrico	ASTM D 422
Ensayo de penetración del cono CPT	ASTM D 3441
Ensayo de penetración estándar SPT	ASTM D 1586-11

Descripción	Norma
Ensayo de prueba de carga de pilotes vaciados y fundidos en sitio	ASTM D 1143-81
Ensayo de ignición para contenido orgánico [10]	ASTM D 2974

Cabe recalcar que la caracterización del material obtenido de las muestras clasificadas no contempla el material de relleno puesto que este material fue colocado después de la intervención para toma de muestras alteradas en el cual se utilizó el ensayo de SPT.

Al tomar muestras independientes para determinar las propiedades del relleno se obtuvo que: en el sitio de estudio 1 se reporta un cambio de suelo en los primeros 0,50 m por una arena limosa (SM) y en el sitio de estudio 2 se reporta un relleno de 1,30 m de una arena limosa (SM).

Por otra parte para la estimación del ángulo de fricción del relleno superficial en el sitio de estudio 1 y 2 se hizo uso de unas ecuaciones que relacionan el índice de vacíos con el ángulo de fricción, estas ecuaciones fueron determinadas en una investigación realizada en la Universidad Politécnica Salesiana [10].

El perfil litológico del sitio 1 presenta un nivel freático con una profundidad de 2,20 m y una interstratificación de materiales granulares y cohesivos, donde predominan las arenas limosas (SM) cuya compactación varía entre media a densa y los cohesivos limos de baja y alta plasticidad (ML, CL, MH) cuya consistencia varía entre blanda a muy firme como se muestra en la Figura 9.

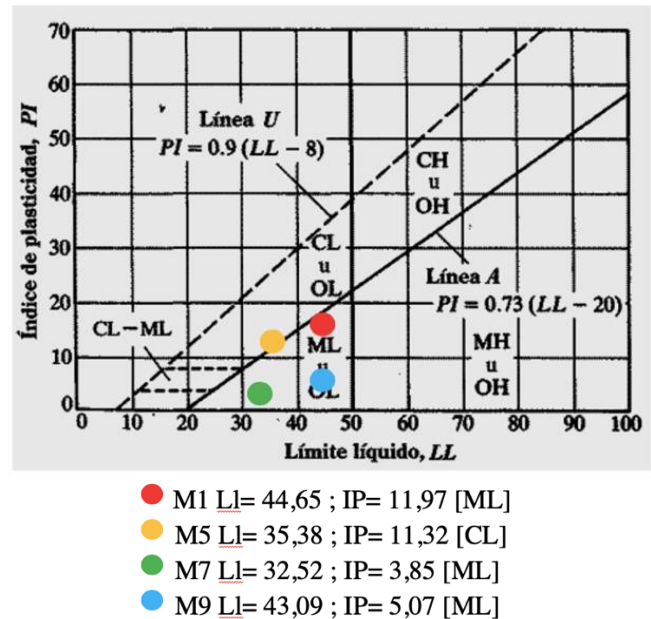
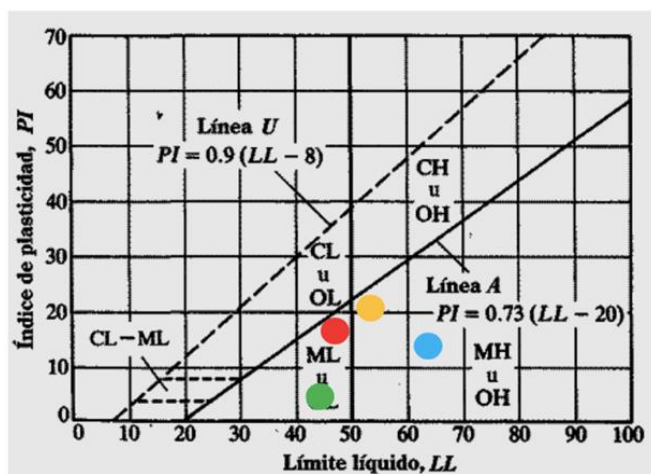


Figura 9. Carta de plasticidad de los suelos cohesivos sitio de estudio 1.

En el perfil litológico del sitio 2 presenta un nivel freático con una profundidad de 5,60 m (tomar en cuenta el relleno mencionado) y una interstratificación de materiales granulares y cohesivos donde predominan las arenas limosas (SM) cuya compactación varía de media a densa y los cohesivos se consideran limos de baja y alta plasticidad (ML, MH) cuya consistencia varía entre blanda, media y muy firme como se muestra en la Figura 10.



- M1 $L_i = 49,28$; $IP = 14,24$ [ML]
- M2 $L_i = 51,93$; $IP = 17,46$ [MH]
- M3 $L_i = 42,08$; $IP = 6,22$ [ML]
- M5 $L_i = 62,64$; $IP = 13,58$ [MH]

Figura 10. Carta de plasticidad de los suelos cohesivos sitio de estudio 2.

En arenas limosas se trabajó como suelos friccionantes, utilizando el ángulo de fricción para la aplicación de las metodologías de diseño de pilotes propuestas por varios autores.

Existen limos no plásticos tanto en el sitio de estudio 1 y 2; algunos autores consideran que los limos no plásticos se pueden caracterizar como friccionantes, sin embargo el comportamiento friccionante o cohesivo depende de la velocidad con la que se aplique la carga como se menciona en la referencia [11].

Se muestra que en los limos cuando son cargados a una cierta velocidad, el comportamiento puede ser no drenado. Es decir que si los limos se los carga muy rápido, su comportamiento en vez de ser friccionante pasa a ser cohesivo, como si fuera un suelo con cohesión no drenada. En un principio los cálculos de capacidad portante consideraron estos suelos como friccionantes pero los resultados obtenidos no correspondían con la prueba de carga, en ese sentido se decidió cambiar del comportamiento granular a cohesivo en los limos no plásticos.

2.3. Prueba de carga en pilotes ASTM D1143 [12] [13]

Para la ejecución de la prueba de carga en los sitios de estudio 1 y 2 se hicieron uso de pilotes circulares de $D=0,23$ m de hormigón premezclado $f_c' = 240$ kg/cm² y en cuanto a su longitud fueron predefinidas a fin de colocar la punta del pilote en diferentes tipos de suelos.

En el Sitio de estudio 1 se realizó la prueba de carga identificada como: P1 (Diámetro del pilote: 0,23 m; Longitud: 7,00 m) y P2: (Diámetro del pilote: 0,23 m; Longitud: 8,00 m) cuya ubicación se muestra en la Figura 2. En el Sitio de estudio 2 se realizó la prueba de carga identificada como P3: (Diámetro del pilote: 0,23 m; Longitud: 7,30 m) y P4: (Diámetro del pilote: 0,23 m; Longitud: 8,30 m)

cuya ubicación se muestra en la Figura 2. En cuanto al sistema de montaje para la ejecución de la prueba de carga en campo, se hizo uso de pilotes de reacción con un armado de varilla de 14 mm soldada a una viga metálica tipo IPE 500, como se muestra en el Anexo 4 (registro fotográfico de la prueba de carga).

El montaje se realizó con ayuda de una retroexcavadora para el levantamiento y maniobra de la viga metálica hacia los sitios de la prueba de carga (P1, P2, P3 y P4). Para las mediciones de las deformaciones y de la carga aplicada haciendo uso de un gato hidráulico a lo largo del ensayo se utilizaron deformímetros y un lector de carga electrónico, con el cual se fue registrando la carga aplicada y las deformaciones en función tiempo (ver Anexo 4 fotos de la prueba de carga).

En la Figura 11 se muestran los resultados de las pruebas de carga P1.

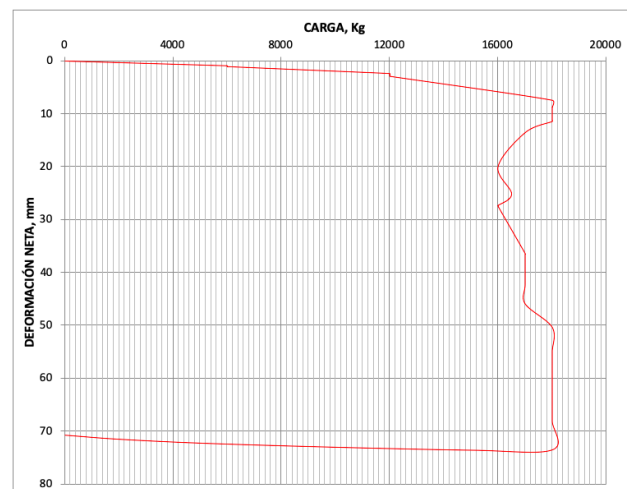


Figura 11. Resultado prueba de carga P1. (Sitio 1)

En la Figura 12 se muestran los resultados de las pruebas de carga P2.

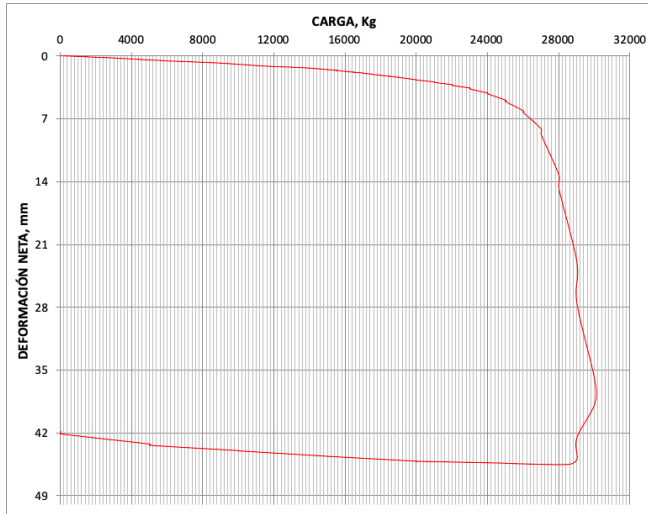


Figura 12. Resultado prueba de carga P2. (Sitio 1)

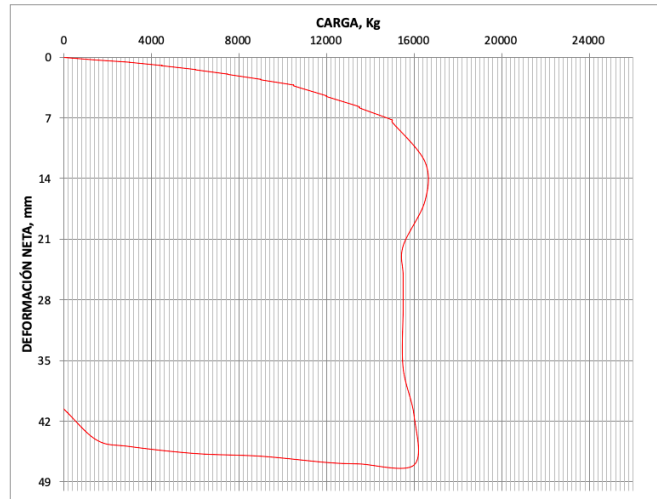


Figura 14. Resultado prueba de carga P4. (Sitio 2)

En la Figura 13 se muestran los resultados de las pruebas de carga P3.

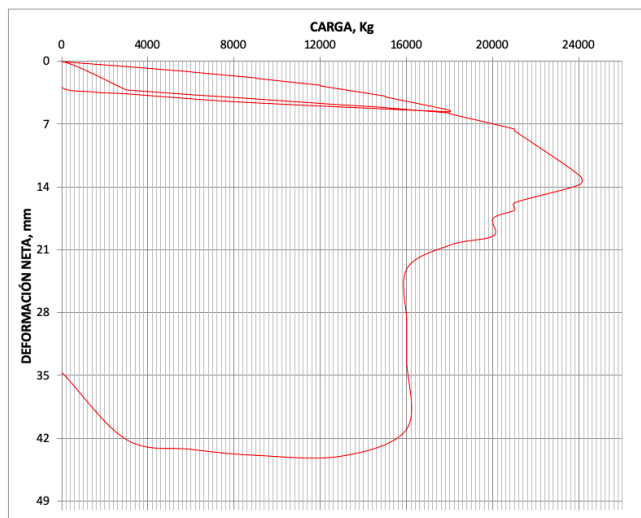


Figura 13. Resultado prueba de carga P3. (Sitio 2)

Nota: Como se puede observar en la Figura 7 existe una variación en la curva Carga vs Deformación debido a que al ir incrementando la carga, la soldadura que unía la viga metálica con los apoyos falló; por lo tanto se tuvo que descargar el pilote, volver a soldar la unión y repetir la prueba de carga.

En la Figura 14 se muestran los resultados de las pruebas de carga P4.

Se muestra en la Tabla 5 el resumen de la prueba de carga realizadas en los pilotes 1, 2,3 y 4.

Tabla 5: Resumen de la prueba de carga de pilotes.

Pilote No.	Longitud	Diámetro	Carga Aplicada	Deformación Máxima
1	7,00 m	0,23 m	17,00 t	73,51 mm
2	8,00 m	0,23 m	30,00 t	45,55 mm
3	7,30 m	0,23 m	24,00 t	44,01 mm
4	8,30 m	0,23 m	16,00 t	47,05 mm

2.4. Interpretación de la prueba de carga [14]

Se utilizaron los métodos de Chin, Hansen y Davisson, los cuales se describen brevemente a continuación.

Método de Chin: el método consiste en proyectar en una gráfica (Deformación /Carga) vs Deformación, seguidamente determinar la pendiente de la recta resultante que al obtener su inversa se determina la carga de falla (Figura 15).

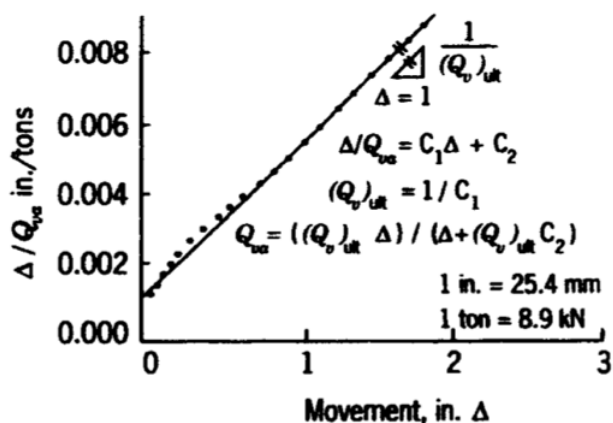


Figura 15. Método de Chin para carga de Falla.

Método de Hansen: el método consiste en proyectar en una gráfica la (Carga vs Deformación); seguidamente calcular el 90% de la carga propuesta dentro del rango de falla, cuya deformación al duplicarla se obtiene la carga de falla (Figura 16).

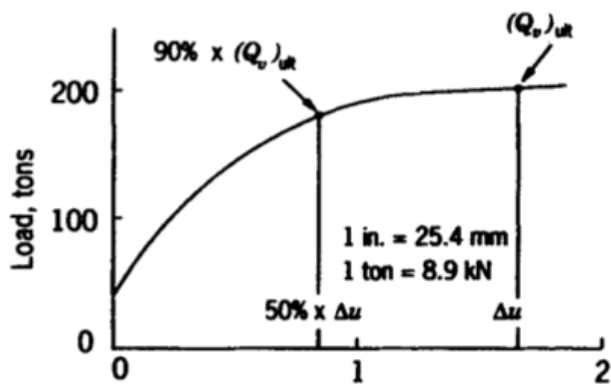


Figura 16. Método de Hansen para carga de Falla.

Método de Davisson: Consiste en trazar una línea que tiene la pendiente en el rango elástico del pilote considerado, el cual se mueve en una distancia x, se la prolonga hasta que corte con el gráfico y se obtiene la carga de falla (Figura 17).

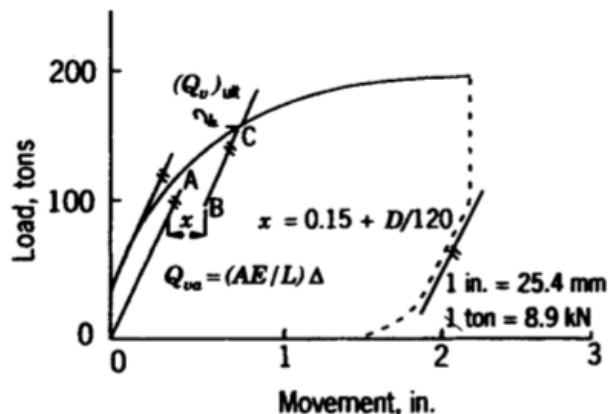


Figura 17. Método de Davisson para carga de Falla.

Por último se obtuvieron los siguientes resultados de los métodos de Chin, Hansen y Davisson de las pruebas de carga P1, P2, P3 y P4.

2.4.1. Sitio 1 prueba de carga P1

En la Figura 18 se muestran los resultados del Método de Chin P1.

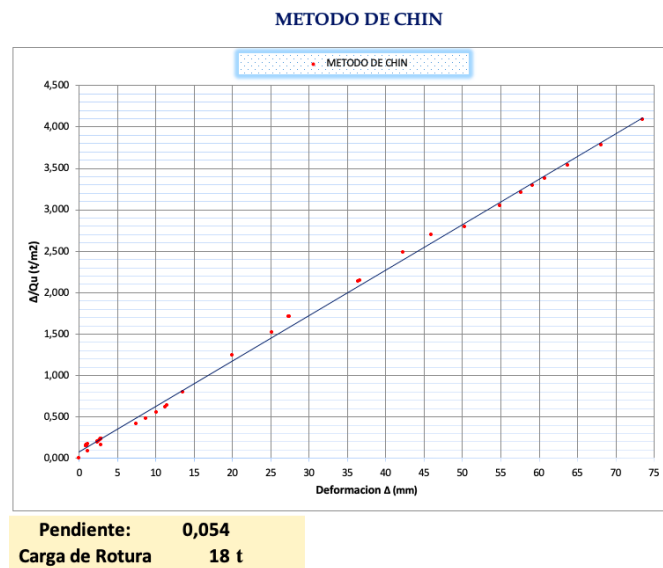
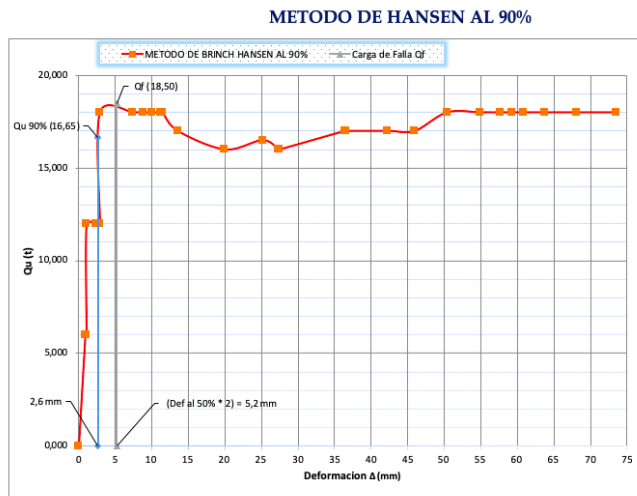


Figura 18. Resultados Método de Chin P1.

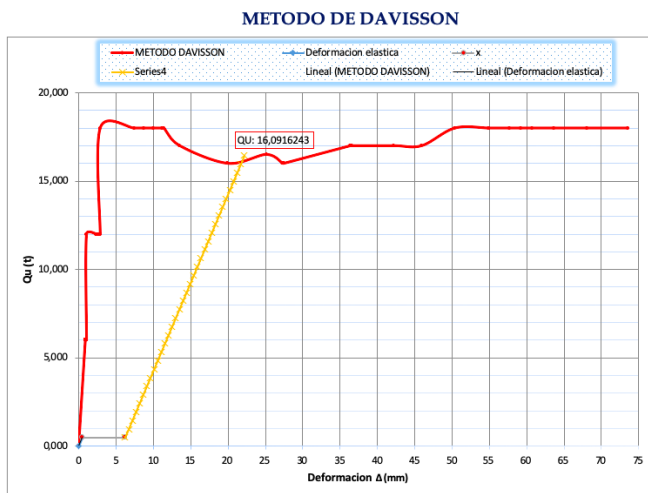
En la Figura 19 se muestran los resultados del Método de Hansen P1.



Carga de Rotura 18,50 t

Figura 19. Resultados Método de Hansen P1.

En la Figura 20 se muestran los resultados del Método de Davisson P1.

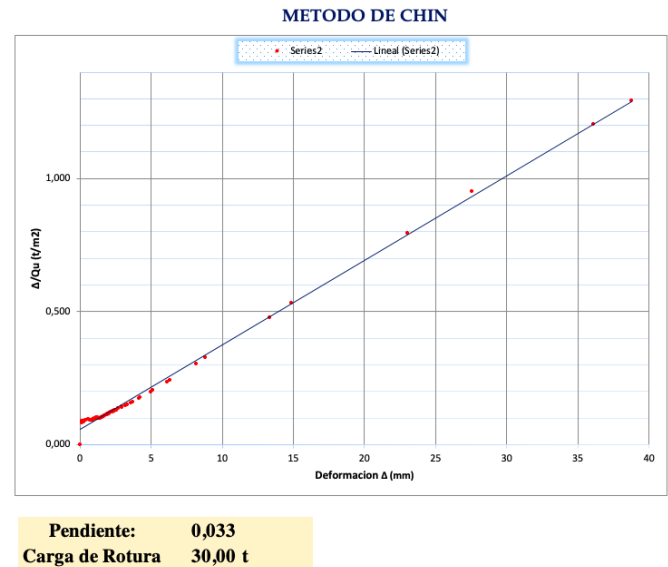


Carga de Rotura 16,09 t

Figura 20. Resultados Método de Davisson P1.

2.4.2. Sitio 1 prueba de carga P2

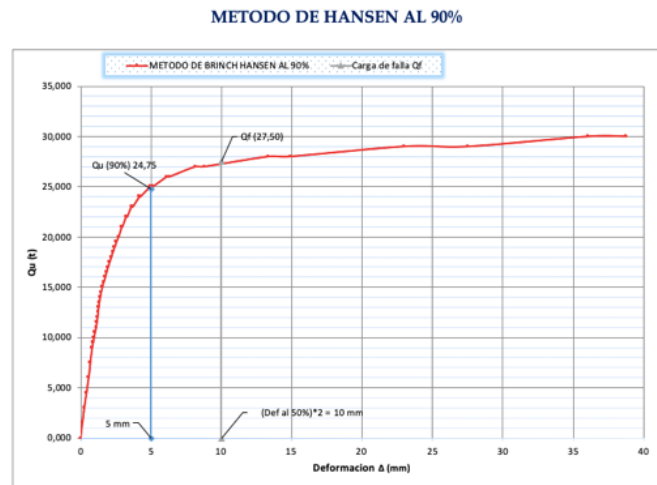
En la Figura 22 se muestran los resultados del Método de Chin P2.



Pendiente: 0,033
Carga de Rotura 30,00 t

Figura 21. Resultados Método de Chin P2.

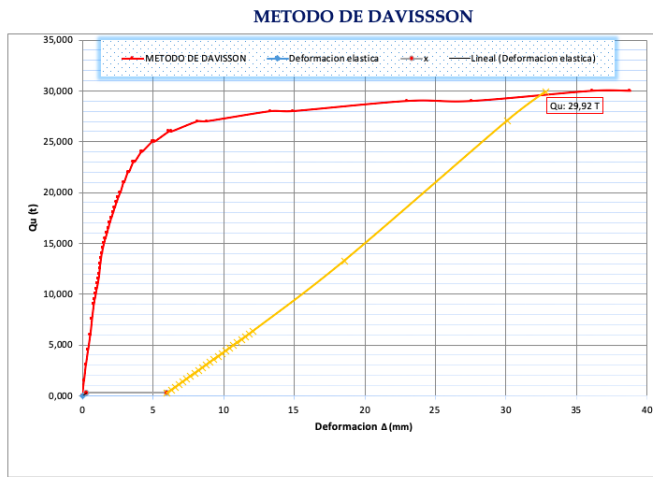
En la Figura 22 se muestran los resultados del Método de Hansen P2.



Carga de Rotura 27,50 t

Figura 22. Resultados Método de Hansen P2.

En la Figura 23 se muestran los resultados del Método de Davisson P2.

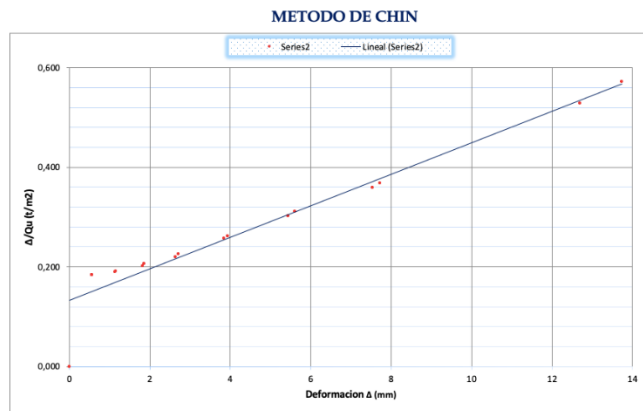


Carga de Rotura 29,92 t

Figura 23. Resultados Método de Davisson P2.

2.4.3. Sitio 2 prueba de carga P3

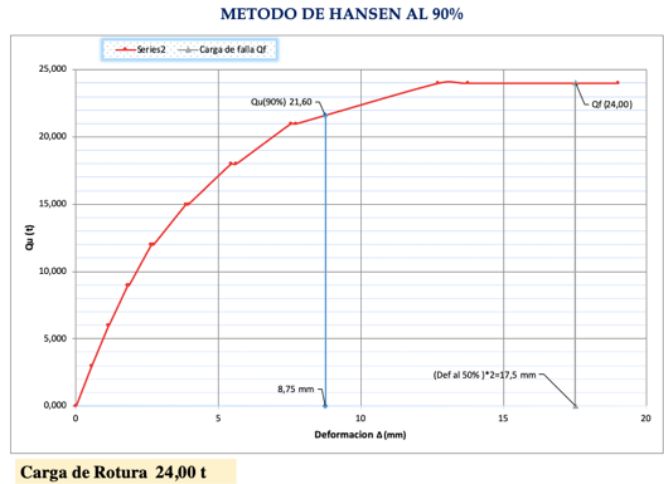
En la Figura 24 se muestran los resultados del Método de Chin P3.



Carga de Rotura 24,00 t

Figura 24. Resultados Método de Chin P3.

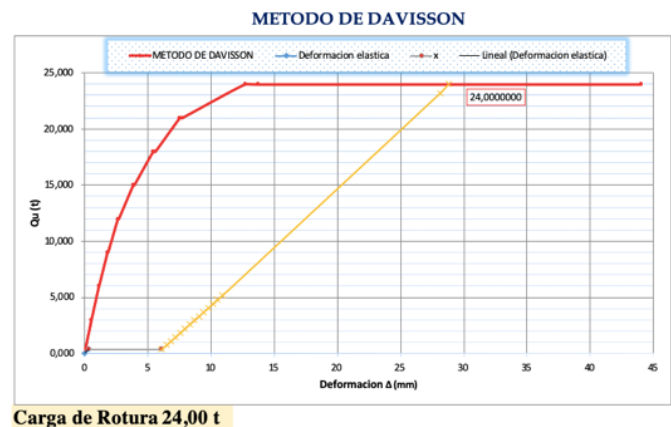
En la Figura 25 se muestran los resultados del Método de Hansen P3.



Carga de Rotura 24,00 t

Figura 25. Resultados Método de Hansen P3.

En la Figura 26 se muestran los resultados del Método de Davisson P3.



Carga de Rotura 24,00 t

Figura 26. Resultados Método de Davisson P3.

2.4.4. Sitio 2 prueba de carga P4

En la Figura 27 se muestran los resultados del Método de Chin P4.

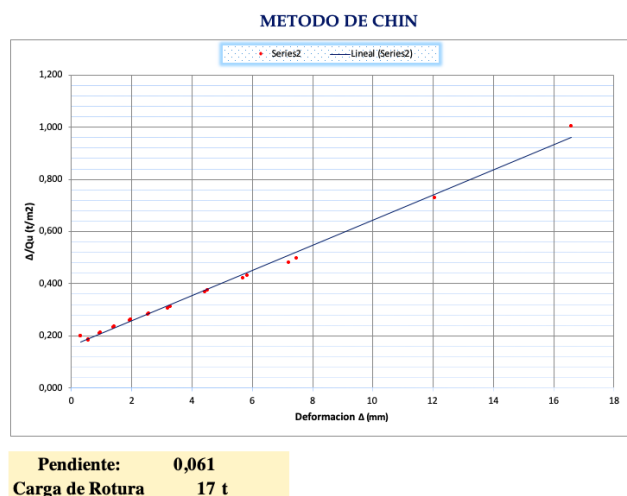


Figura 27. Resultados Método de Chin P4.

En la Figura 28 se muestran los resultados del Método de Hansen P4.

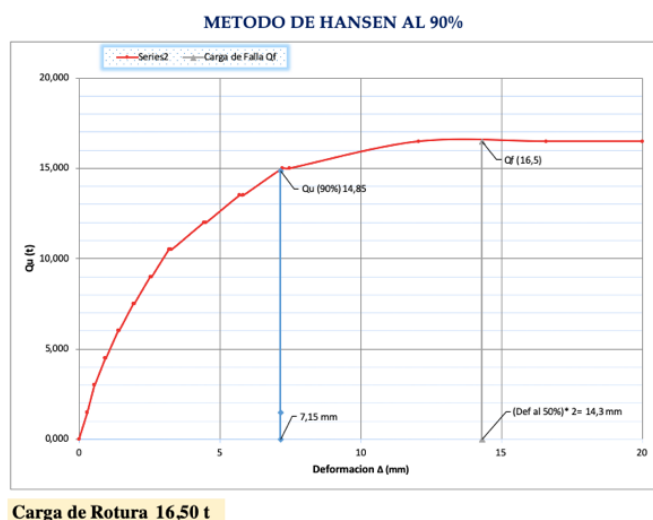


Figura 28. Resultados Método de Hansen P4.

En la Figura 29 se muestran los resultados del Método de Davisson P4.

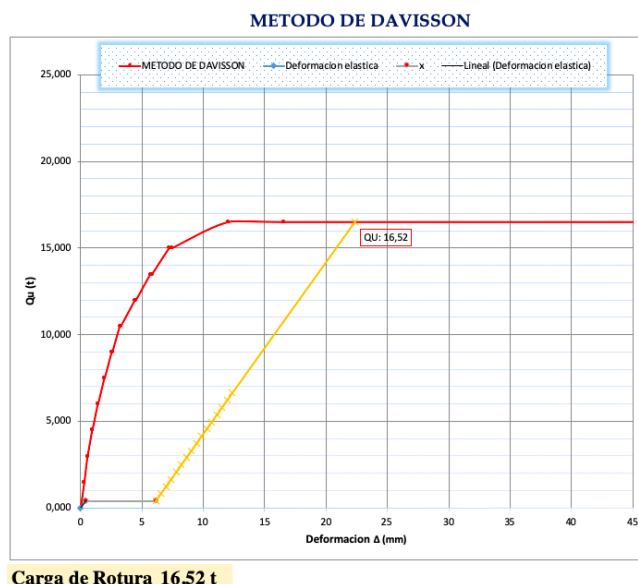


Figura 29. Resultados Método de Davisson P4.

Finalmente se obtuvo una tabla de resumen de la interpretación de la prueba de carga que se muestra en Tabla 6.

Tabla 6: Resumen de interpretación de la prueba de carga.

Longitud	Sitio	Chin (t)	Davisson (t)	Hansen (t)	Carga de Falla Promedio (t)
7,00 m	P1	18,00	16,09	18,50	17,53
8,00 m	P2	30,00	29,92	27,50	29,14
7,30 m	P3	24,00	24,00	24,00	24,00
8,30 m	P4	17,00	16,52	16,50	16,67

Se le dio igual importancia a los métodos utilizados para determinar la carga de falla, obteniendo un valor promedio como valor representativo de la prueba de carga, como se indica en la Tabla 6.

2.5. Cálculo de capacidad portante

A continuación se presenta el cálculo de la capacidad portante de pilotes usando las metodologías presentadas en el punto 1 (Figura 29 a Figura 32). Sin embargo, no se utilizó el Método LCPC para comparar con los otros métodos porque se encontró limitada la longitud de exploración. (En los anexos se encuentra el cálculo realizado por el Método LCPC únicamente para aplicar el método).

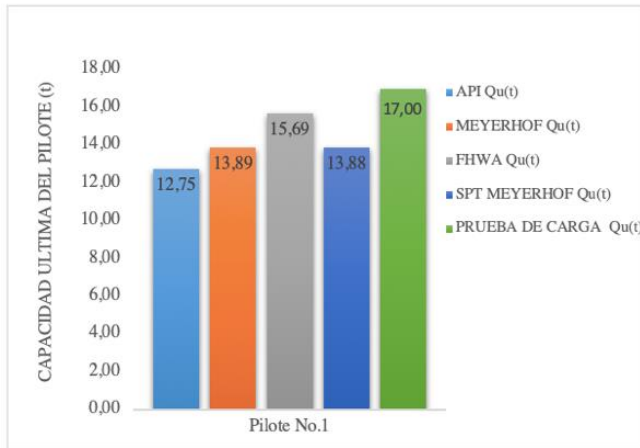


Figura 30. Cálculo capacidad portante P1.

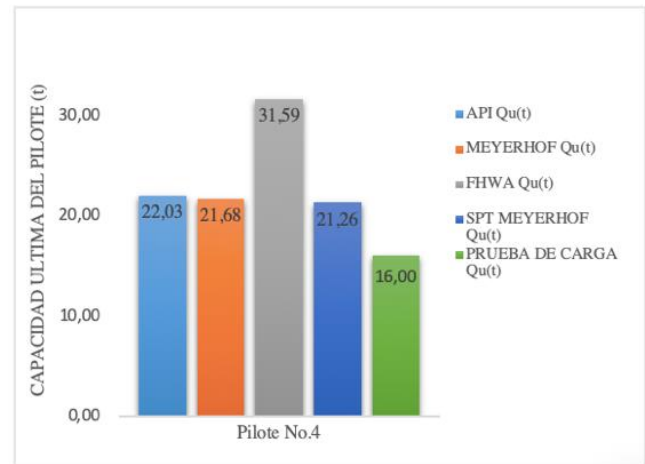


Figura 33. Cálculo capacidad portante P4.

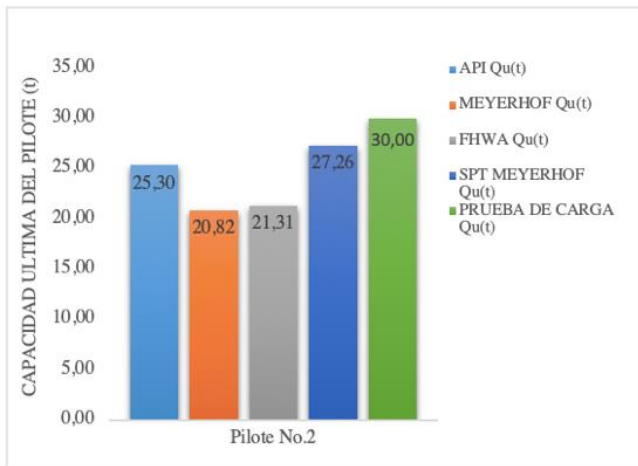


Figura 31. Cálculo capacidad portante P2.

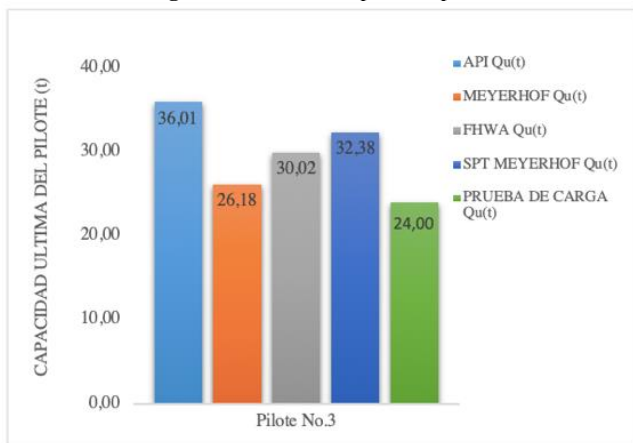


Figura 32. Cálculo capacidad portante P3.

En la Tabla 7 se presenta el resumen de los cálculos de la capacidad portante por distintas metodologías mencionadas en el punto 1.

Tabla 7: Resumen de cálculo de la capacidad portante de pilotes por distintas metodologías.

Pilote No.	Profundidad (m)	Diámetro (m)	API Qu (t)	Meyerhof Qu (t)	FHWA Qu (t)	SPT Meyerhof Qu (t)
1	7,00	0,23	12,75	13,89	15,69	13,88
2	8,00	0,23	25,30	20,82	21,31	27,26
3	7,30	0,23	36,01	26,18	30,02	32,38
4	8,30	0,23	22,03	21,68	31,59	21,26

En el Anexo 5 se muestran las planillas de resumen de cálculo de la capacidad portante de pilotes utilizando las metodologías de: API, MEYERHOF, FHWA, LCPC y MEYERHOF SPT.

3. Resultados y Discusión

Se comprobó la validez de los resultados obtenidos mediante la aplicación de las metodologías de cálculo, al compararlos con los resultados de pruebas de carga reales, como se muestra a continuación:

Para el pilote #1 (L: 7,00 m) la resistencia promedio resultó de 17,53 t, el valor más próximo se obtuvo con el método FHWA con un valor de 15,69 t, en el cual da un error del 10.50 % que se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Resumen de error de metodologías P1.

Pilote No.	Prueba de Carga (t)	API Qu (t)	Meyerhof Qu (t)	FHWA Qu (t)	SPT Meyerhof Qu (t)	Tipo de Suelo
1	17,53	12,75	13,89	15,69	13,88	ML
Error %	-	27,30 %	27,30 %	27,30 %	27,30 %	

Para el pilote # 2 (L: 8,00 m) la resistencia promedio resultó de 29,14 t, el valor más próximo se obtuvo con el método MEYERHOF SPT con un valor de 27,26 t, en el cual da un error del 6,45% que se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Resumen de error de metodologías P2.

Pilote No.	Prueba de Carga (t)	API Qu (t)	Meyerhof Qu (t)	FHWA Qu (t)	SPT Meyerhof Qu (t)	Tipo de Suelo
2	29,14	25,30	20,82	21,31	27,26	SM
Error %	-	13,20 %	28,60 %	26,90 %	6,45 %	

Para el pilote # 3 (L: 7,30 m) la resistencia promedio resultó de 24,00 t, el valor más próximo se obtuvo con el método MEYERHOF con un valor de 26,18 t, en el cual da un error del 10,30% que se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Resumen de error de metodologías P3.

Pilote No.	Prueba de Carga (t)	API Qu (t)	Meyerhof Qu (t)	FHWA Qu (t)	SPT Meyerhof Qu (t)	Tipo de Suelo
3	24,00	36,01	26,18	30,02	32,38	SM
Error %	-	51,70 %	10,30 %	26,50 %	34,92 %	

Para el pilote # 4 (L: 8.30 m) la resistencia promedio resultó de 16,67 t, el valor más próximo se obtuvo con el método MEYERHOF SPT con un valor de 21.26, en el cual da un error del 27,53 % que se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11: Resumen de error de metodologías P4.

Pilote No.	Prueba de Carga (t)	API Qu (t)	Meyerhof Qu (t)	FHWA Qu (t)	SPT Meyerhof Qu (t)	Tipo de Suelo
4	16,67	22,03	21,68	31,59	21,26	ML
Error %	-	32,20 %	30,10 %	89,50 %	27,53 %	

Cabe destacar que existe variabilidad entre los valores medidos de las pruebas de carga y los obtenidos por las diversas metodologías de cálculo. En algunos casos los métodos de API y FHWA presentan errores que superan el 50 % a diferencia

de los métodos de Meyerhof y Meyerhof SPT cuyo error es menor al 35 %.

4. Conclusiones

Las conclusiones detalladas a continuación se basan en la problemática relacionada con la aplicación de las distintas metodologías de cálculo y de las pruebas de carga en pilotes.

Al comparar las metodologías estudiadas, se puede concluir que en arenas la capacidad por fuste tiende a ser mayor en los métodos FHWA, API y menores en los métodos de Meyerhof; debido a que: en el método FHWA se usa en sus ecuaciones el esfuerzo de pre-consolidación (cambios de esfuerzos horizontales que se producen en respuesta a la construcción del pilote) en las arenas que hace que se desarrolle más fricción entre el suelo y el pilote. En el método API el factor K da un mayor valor en comparación con Meyerhof debido a que este considera una reducción del ángulo de fricción en 5 grados [10] y en Meyerhof un valor de 0.8 veces el ángulo de fricción , por consiguiente el método de Meyerhof da valores menores al compararlos con los métodos FHWA y API.

La capacidad por punta en arenas tiende a ser mayor en los métodos API y menores en los métodos FHWA y Meyerhof, debido a que en estos últimos se impone un valor límite que no supera los 3 MPa en comparación con API en el que se puede alcanzar los 12 MPa. Los factores de capacidad de carga de punta N'_q son similares entre sí.

En los suelos cohesivos la capacidad por fuste tiende a ser mayor en los métodos FHWA y API y menores en los métodos de Meyerhof debido a que el parámetro de adherencia α cuando existen suelos cohesivos de consistencia firme a dura tiende a ser mayor en el método de la FHWA, seguido del API y en menor grado con el método de Meyerhof.

La capacidad por punta en los suelos cohesivos es igual en todos los métodos estudiados porque resulta del producto de factor de capacidad de carga de 9 y la cohesión no drenada a la profundidad en que se ubica la punta del pilot

Aun cuando en algunos casos de las pruebas de carga los valores de capacidad predichos por API y FHWA son apropiados, existen casos en que el porcentaje de error supera el 50%. Este hecho se atribuye a que en el método API la limitación por punta es relativamente alta y en el método de la FHWA las arenas preconsolidadas generan valores mucho más altos de capacidad portante comparados con los métodos de Meyerhof y los valores derivados de las pruebas de carga.

Con relación a la determinación de la carga asociada a la falla del pilote al utilizar las metodologías de Chin, Hansen y Davisson se ha considerado que los mismos son igualmente factibles tomándose un valor promedio como representativo.

Se recomienda realizar mayor cantidad de pruebas de carga variando los sitios de estudio y contratar a empresas que tengan el equipo de CPT (con medición de presión de poros) con la suficiente capacidad para lograr alcanzar la profundidad en la cual se ubica la punta de los pilotes.

Basado en los cálculos de la aplicación de las diferentes metodologías propuestas y en las pruebas de carga, en este estudio se determinó que el Método para la determinación de la capacidad portante en pilotes excavados y fundidos in situ que más se ajusta es el de Meyerhof, dando un menor valor del error en comparación con todos los métodos, el cual estuvo comprendido entre el 6 % y 35 % de los resultados derivados de las pruebas de carga.

Como lo indica Meyerhof, los factores de capacidad de carga (N'_q) en pilotes excavados se deben reducir en una tercera parte con relación a los reportados por Meyerhof al realizar las pruebas de carga de pilotes hincados.

Se recomienda hacer ensayos complementarios (ensayos de corte directo o tubos shelby) para obtener las propiedades y asegurar que la correlación usada es la correcta en cuanto a la estimación del ángulo de fricción y la cohesión.

Al tener un $f_c' = 240 \text{ kg/cm}^2$, se calculó la carga de falla del hormigón:

$$Q = \sigma * A$$

Donde:

$Q = \text{Esfuerzo de falla del hormigón}$

$\sigma = \text{Resistencia del hormigón } f_c'$
 $A = \text{Área del pilote.}$

Dando un valor de $Q = 99,7 \text{ t}$ mayor al resultado de la carga de falla en las pruebas de carga, por lo tanto se puede concluir que para esta investigación se produce la falla del suelo antes que la del pilote.

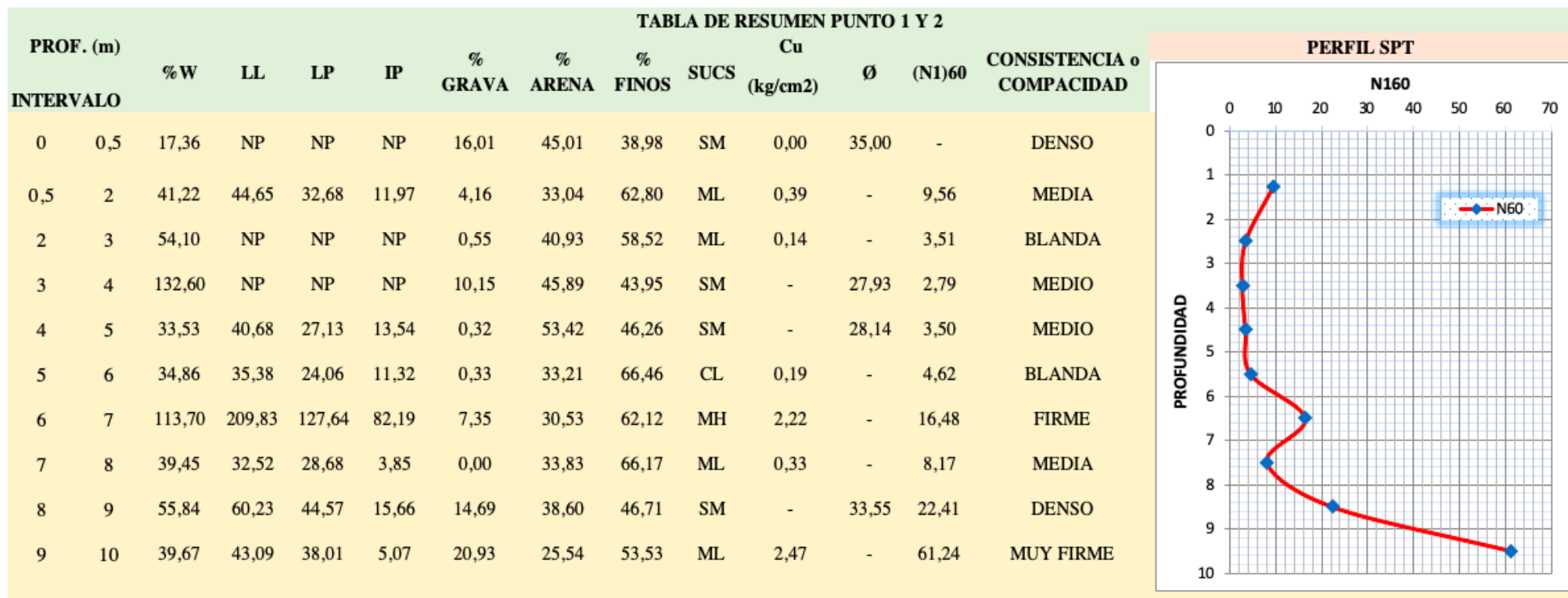
Referencias

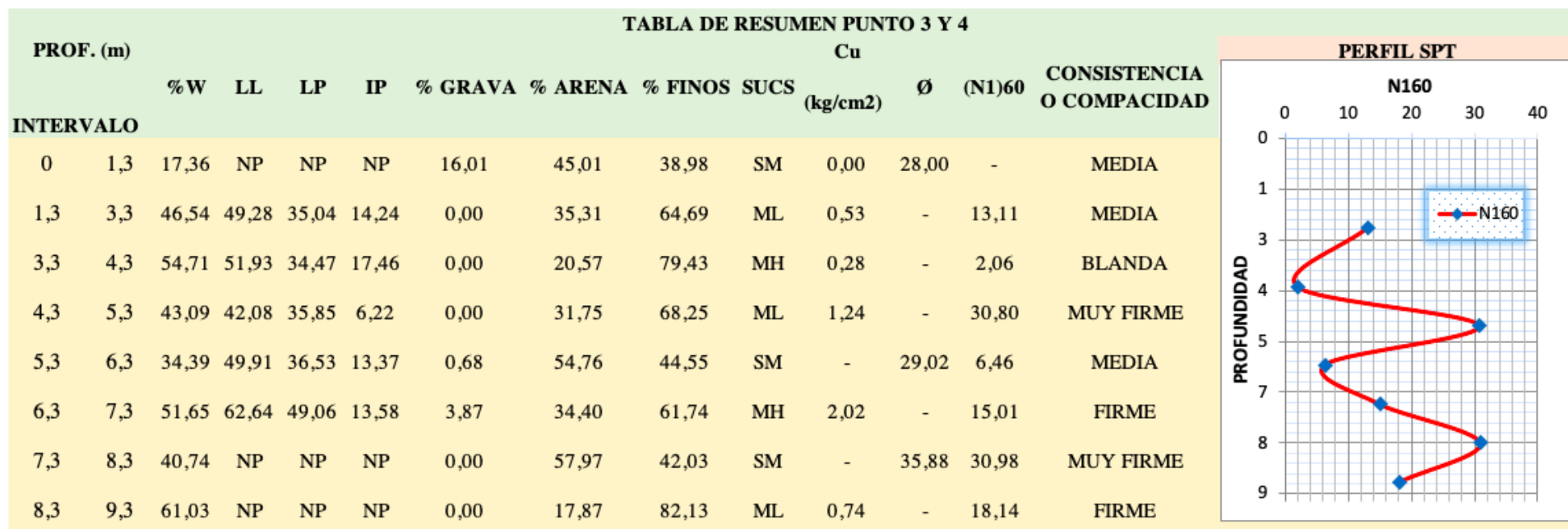
- [1] Braja and Dass, “Principio De Cimentaciones.” p. 860, 1999.
- [2] Meyerhof, “Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations.”
- [3] L. C. Reese, W. M. Isenhower, and S. T. Wang, *Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations*. 2007.
- [4] U. D. of Transportation, “Drilled shafts: Construction procedures and design methods,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 5, no. 1–2, pp. 156–157, 1990.
- [5] Titi et al., “Evaluation of Bearing Capacity of Piles From Cone,” no. November, 1999.
- [6] E. Eduardo and R. Granados, “Análisis comparativo de capacidad portante y asentamientos de pilotes a partir de ecuaciones semi- empíricas , modelos numéricos y ensayos CPTU Comparison of bearing capacity and settlement analysis of piles from semi-empirical equations , numerical model.”
- [7] L. T, P. . Robertson, and J.J.M., “Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.

- [8] NAVFAC, “Soil Mechanics DESIGN,” *Soil Mech. Des.*, p. 389, 1986.
- [9] J. Ameratunga, N. Sivakugan, and B. M. Das, *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. 2016.
- [10] L. Tenesaca and D. Caiza, “Correlación entre el Angulo de Fricción y la relación de vacíos en arenas utilizando el ensayo de corte Directo.” .
- [11] M. Randolph and S. Gourvenec, *Offshore geotechnical engineering*. 2017.
- [12] A. T. Load, “Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load 1,” vol. 81, no. Reapproved 1994, pp. 1–11, 2013.
- [13] B. Fellenius, “The analysis of results from routine pile load tests.” .
- [14] J. Wiley and S. Retrieved, “Copyright © 2003 John Wiley & Sons Retrieved from: www.knovel.com,” pp. 723–728, 2003.

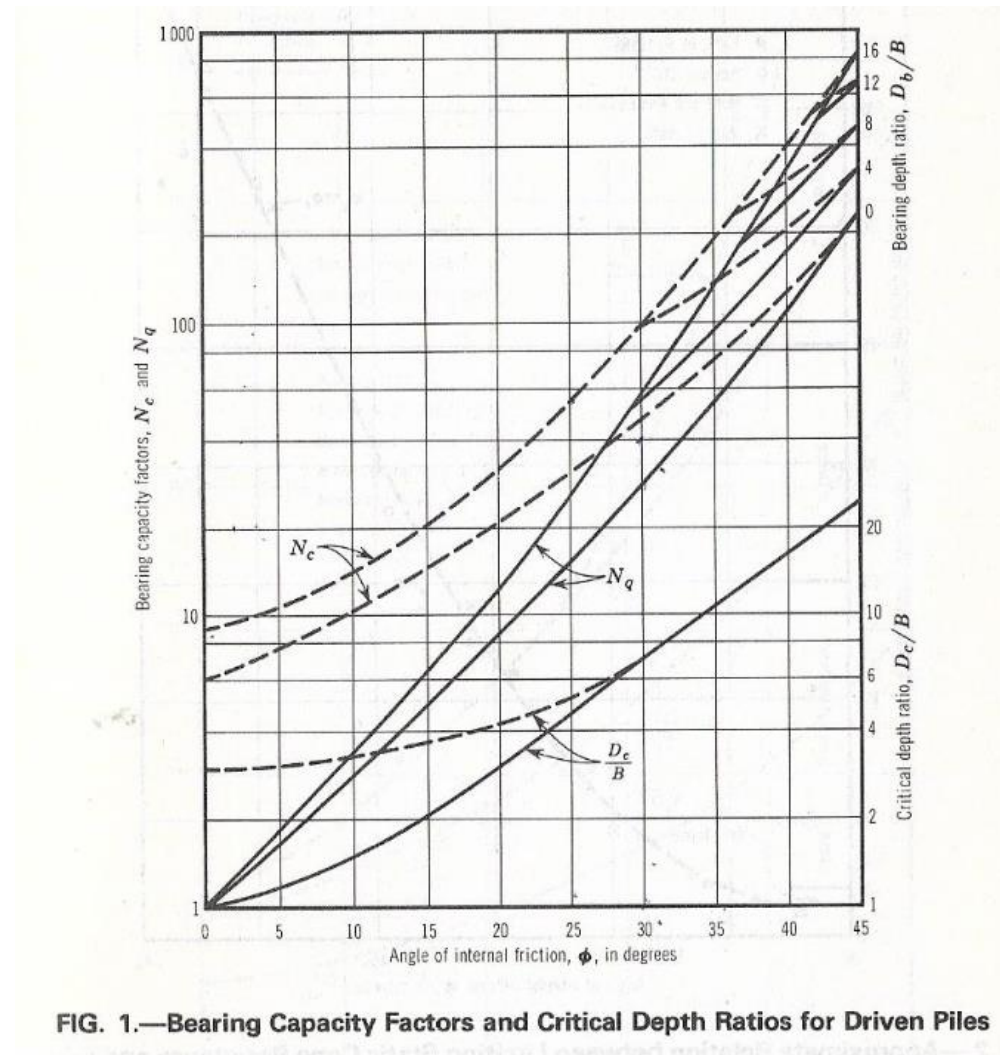
Anexos

Anexo 1. Resumen de caracterización geotécnica de los suelos





**Anexo 2. Factores de capacidad de carga en pilotes hincados
(N_q) en la metodología de Meyerhof**



Anexo 3. Factores de capacidad de carga en pilotes hincados (Nq) en la metodología de API

Density	Soil Description	Soil-Pile Friction Angle, δ Degrees	Limiting Skin Friction Values kips/ft ² (kPa)	N_q	Limiting Unit End Bearing Values kips/ft ² (MPa)
Very Loose	Sand	15	1.0 (47.8)	8	40 (1.9)
Loose	Sand-Silt**				
Medium	Silt				
Loose	Sand	20	1.4 (67.0)	12	60 (2.9)
Medium	Sand-Silt**				
Dense	Silt				
Medium	Sand	25	1.7 (81.3)	20	100 (4.8)
Dense	Sand-Silt**				
Dense	Sand	30	2.0 (95.7)	40	200 (9.6)
Very Dense	Sand-Silt**				
Dense	Gravel	35	2.4 (114.8)	50	250 (12.0)
Very Dense	Sand				

Anexo 4. Registro fotográfico de la prueba de carga



Fotografía 1. Sistema para prueba de carga en pilotes.



Fotografía 3. Gato hidráulico y medidores de deformación.



Fotografía 2. Gato hidráulico y medidores de deformación.



Fotografía 4. Soldadura de la viga metálica con ayuda de retroexcavadora.



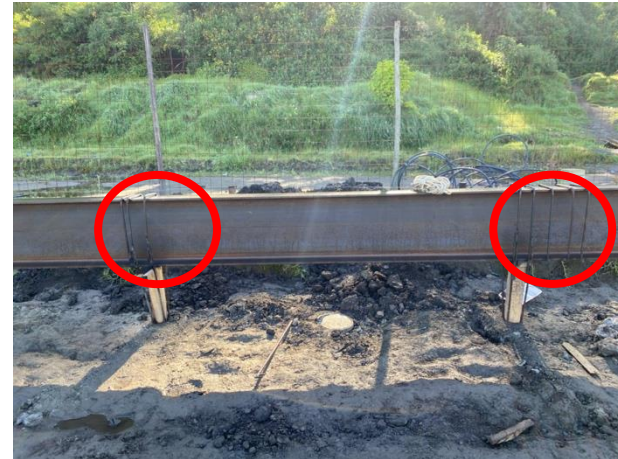
Fotografía 5. Soldadura de la viga metálica con ayuda de retroexcavadora.



Fotografía 7. Soldadura de la viga metálica con ayuda de retroexcavadora.



Fotografía 6. Soldadura de la viga metálica con ayuda de retroexcavadora.



Fotografía 8. Soldadura de la viga metálica con ayuda de retroexcavadora.

Anexo 5. Resumen de métodos de cálculo

Método Api

PILOTE #1																	
L:	7	m															
Díametro	0,23	m															
			TIPO DE SUELO		CORREGIDO GOLPES N1 60	t/m3 PESO ESP γ	t/m2 Esf. Efec Vertical σ'	phi φ	Ang. Fricci entre suelo y pilote δ	Coef. Empuje K_0	Cohesión no drenada Su kg/cm2	Factor empírico de adhesión α	Cap por Fricción qs (t/m2)	Resist por Fric Qs (t)	Cap por Punta qp (t/m2)	Resist por Punta Qp (t)	Carga Ultima (t)
SONDEO	Estrato	COHESIVO	GRANULAR														
1	Relleno		SM			1,80	0,45	35,00	30,00	0,43			0,11	0,04			12,75
	0,5-2,00	ML	-		9,56	1,80	2,25	-	-		0,39	0,44	1,69	1,83			
	2,00-3,00	MNP	-		3,51	1,60	4,10				0,14	0,85	1,21	0,87			
	2,20	Nivel Freático															
	3,00-5,00		SM		2,79	1,60	4,70	28,00	23,00	0,53			1,06	0,76			
			SM		3,50	1,60	5,30	28,00	23,00	0,53			1,19	0,86			
	5,00-6,00	CL	-		4,62	1,70	5,95	-	-	-	0,19	0,89	1,67	1,20			
	6,00-7,00	MH	-		16,48	1,90	6,75	-	-	-	2,22	0,37	8,24	5,95			
	7,00-8,00	ML	-		8,29	1,80	7,38	-	-	-	0,33			11,52	29,696	1,23	
	OP																

Método de Meyerhof

PILOTE #1																	
L:	7	m															
Díametro	0,23	m															
			TIPO DE SUELO		CORREGIDO GOLPES N1 60	t/m3 PESO ESP γ	t/m2 Esf. Efec Vertical σ'	phi φ	Ang. Fricci entre suelo y pilote δ= 0,8xφ	Coef. Empuje Ko	Cohesión no drenada Su kg/cm2	Factor empírico de adhesión α	Cap por Fricción qs (t/m2)	Resist por Fric. Qs (t)	Cap por Punta qp (t/m2)	Resist por Punta Qp (t)	Carga Última (t)
SONDEO	Estrato	COHESIVO	GRANULAR														
1	Relleno		SM		1,8	0,45	35	28	0,426				0,10	0,04			13,89
	0,5-2,00	ML	-	9,56	1,80	2,25	-	-	-	0,39	1,00	3,86	4,18				
	2-3,00	MNP	-	3,51	1,60	4,10				0,14	1,00	1,42	1,03				
	2,20	Nivel Freático															
	3,00-5,00		SM	2,79	1,60	4,70	28,00	22,40	0,53			1,03	0,74				
			SM	3,50	1,60	5,30	28,00	22,40	0,53			1,16	0,84				
	5,00-6,00	CL	-	4,62	1,70	5,95				0,19	1,00	1,86	1,35				
	6,00-7,00	MH	-	16,48	1,90	6,75				2,22	0,28	6,21	4,49				
	7,00-8,00	ML	-	8,29	1,80	7,38				0,33			12,66	29,70	1,23		
	OP																

Método FHWA

PILOTE #1		L:		7	m
Díametro		0.2		m	
(Presion atmosferica)Pa		10		T/m2	

		TIPO DE SUELO		#GOLPES CORREGIDO	t/m3	t/m2		Coefficiente de resistencia lateral	Cohesión no drenada	Factor empírico de adhesión	Cap por Fricción	Resist por Fric.	Cap por Punta	Resist por Punta	Carga Ultima		
SONDEO	Estrato	COHESIVO	GRANULAR	N 60	PESO ESP	Esf. Efec Vertical	phi										
					γ	σ'	φ	β	Su kg/cm2	α	qs (t/m2)	Qs (t)	qp (t/m2)	Qp (t)	(t)		
1	OP	Relleno	SM	16.88	1,80	0.45	35	2.58			1.16	0.42			15.69		
		0.5-2.00	ML	5.63	1.80	2.25	-		0.39	0.55	2.12	2.30					
		2-3.00	MNP	2.25	1.60	4.10	-		0.14	0.55	0.78	0.56					
		2.20	Nivel Freático														
		3.00-5.00		SM	1.91	1.60	4.70	28.00	0.36			1.71	1.23				
				SM	2.55	1.60	5.30	28.00	0.38			2.03	1.46				
		5.00-6.00	CL	-	3.56	1.70	5.95			0.19	0.55	1.03	0.74				
		6.00-7.00	MH	-	13.54	1.90	6.75			2.22	0.483	10.70	7.73				
		7.00-8.00	ML	-	7.13	1.80	7.60			0.33			14.46	29.696		1.23	

Método LCPC

DATOS:	
DIAMETRO (M)	0.23

PROFUNDIDAD (m)		Resistencia a la punta (MPa)	TIPO DE SUELO	αs	qs	qs	qs	Qs
INTERVALO		qc			MPa	kpa	T/m2	T
0	0,6	1,46	arena limosa a limo arenoso	0,01	0,01	14,60	1,49	0,65
0,6	0,8	2,52	limo arcilloso a arcilla limosa	0,03	0,06	63,00	6,42	0,93
0,8	1,2	1,68	arcilla	0,03	0,04	35,00	3,57	1,03
1,2	1,4	0,96	material organico	0,03	0,03	15,00	1,53	0,22
1,4	2	0,48	arcilla	0,03	0,02	15,00	1,53	0,66
2	2,2	0,53	material organico	0,03	0,02	15,00	1,53	0,22
2,2	2,6	0,47	arcilla	0,03	0,02	15,00	1,53	0,44
2,6	2,8	1,19	limo arenoso a limo arcillo	0,03	0,03	29,75	3,03	0,44
2,8	3,2	1,38	arcilla	0,03	0,03	34,50	3,52	1,02
3,2	3,4	2,69	arcilla limosa a arcilla	0,03	0,07	35,00	3,57	0,52
3,4	3,6	5,70	arena limosa a limo arenosa	0,01	0,06	57,00	5,81	0,84
3,6	3,8	7,35	arena arena limosa	0,01	0,07	73,50	7,49	1,08
3,8	4	6,20	arcilla limosa a arcilla	0,02	0,11	35,00	3,57	0,52
4	4,4	7,52	arena arena limosa	0,01	0,08	75,20	7,67	2,22
4,4	4,6	10,31	arena limosa a limo arenosa	0,01	0,10	80,00	8,16	1,18
4,6	4,8	9,27	limo arenoso a limo arcillo	0,03	0,23	35,00	3,57	0,52
4,8	5	10,27	arena	0,01	0,10	80,00	8,16	1,18
5	5,2	11,07	limo arenoso a limo arcillo	0,03	0,28	35,00	3,57	0,52
5,2	5,4	11,57	arena arena limosa	0,01	0,12	80,00	8,16	1,18
5,4	5,6	11,08	suelo fino muy rigido	0,02	0,19	35,00	3,57	0,52
5,6	5,8	11,08	arena limosa a limo arenosa	0,01	0,11	80,00	8,16	1,18
5,8	6	8,28	arcilla	0,02	0,14	35,00	3,57	0,52
							Qs	17,56

Método SPT de Meyerhof

PILOTE #1		
L:	7	m
Diametro	0,23	m
Area del pilote	= 0,0416	m2
(Presion atmosferica)Pa	10,197162	T/m2

10,197162 T/m2						Cohesión no drenada	Factor empírico de adhesión	Cap por Fricción	Resist por Fric.	Cap por Punta	Resist por Punta	Carga Última		
		TIPO DE SUELO	#GOLPES CORREGIDO	Factor empírico de fricción del pilote										
SONDEO		Estrato	COHESIVO	GRANULAR	N1 60	ks	Su kg/cm2	α	qs (t/m2)	Qs (t)	qp (t/m2)	Qp (t)	(t)	
1	QP	Relleno		SM	28,69	0,01			3,09	1,12			13,88	
		0,5-2,00	ML	-	9,56		0,39	1,00	3,86	4,18				
		2,00-3,00	MNP	-	3,51		0,14	1,00	1,42	1,03				
		2,20	Nivel Freático											
		3,00-5,00		SM	2,79	0,01			0,30	0,22				
				SM	3,50	0,01			0,38	0,27				
		5,00-6,00	CL	-	4,62		0,19	1,00	1,86	1,35				
		6,00-7,00	MH	-	16,48		2,22	0,28	6,21	4,49				
		7,00-8,00	ML	-	8,17		0,33			12,65	29,70	1,23		
		FACTOR	ARENA		UNIDADES									
		Ks	0,01		t/pie2									
		Kb	1,2		t/pie2									

Método Api

PILOTE #2		
L:	8	m
Diametro	0,23	m

0,23		m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
------	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

		Valores limite	
δ	Nq	kg/cm2	t/m2
15	8	19	190
20	12	29	290
25	20	48	480
30	40	96	960
35	50	120	1200
29,00	36		864

Almeida - Vargas / Comparación de la capacidad portante de pilotes fundidos in situ, utilizando pruebas de carga y metodologías de cálculo basados en los ensayos SPT y CPT

Método de Meyerhof

PILOTE #2																	
L:	8	m															
Díametro	0,23	m															
			TIPO DE SUELO		CORREGIDO	t/m3	t/m2	Ang. Fricci		Cohesión	Factor						
SONDEO	Estrato	COHESIVO	GRANULAR	GOLPES	PESO ESP	Esf. Efec Vertical	phi	entre suelo	Coef. Empuje	no drenada	empírico de	Cap por Fricción	Resist por Fric.	Cap por Punta	Resist por Punta	Carga	
				N1 60	γ	σ'	φ	y pilote	Ko	Su kg/cm2	α	qs (t/m2)	Qs (t)	qp (t/m2)	Qt (t)	Última (t)	
1	Relleno		SM		1,8	0,45	35	28	0,426			0,10	0,04			20,82	
	0,5-2,00	ML	-	9,56	1,80	2,25	-	-	-	0,39	1,00	3,86	4,18				
	2-3,00	MNP	-	3,51	1,60	4,10				0,14	1,00	1,42	1,03				
	2,20	Nivel Freático															
	3,00-5,00		SM	2,79	1,60	4,70	28,00	22,40	0,53			1,03	0,74				
			SM	3,50	1,60	5,30	28,00	22,40	0,53			1,16	0,84				
	5,00-6,00	CL	-	4,62	1,70	5,95				0,19	1,00	1,86	1,35				
	6,00-7,00	MH	-	16,48	1,90	6,75				2,22	0,28	6,21	4,49				
	7,00-8,00	ML	-	8,17	1,80	7,60				0,33	1,00	3,30	2,38				
	8,00-9,00		SM	22,78	2,00	8,00	34,00										
												15,04	306,67	5,78			
												Qpunta limite	139				
												VALOR QP	139		[t/m2]		

Método FHWA

PILOTE #2																	
L:	8	m															
Díametro	0,23	m															
(Presion atmosferica)Pa	10,2	T/m2															
					t/m3	t/m2			Coeficiente de resistencia lateral	Cohesión no drenada	Factor empírico de adhesión	Cap por Fricción	Resist por Fric.	Cap por Punta	Resist por Punta	Carga Ultima	
SONDEO			Estrato	COHESIVO	GRANULAR	N 60	γ	σ'	ϕ	β	Su kg/cm2	α	qs (t/m2)	Qs (t)	qp (t/m2)	Qp (t)	(t)
1	QP	Relleno		SM	16,88	1,80	0,45	35	2,58				1,16	0,42			21,31
		0,5-2,00	ML	-	5,63	1,80	2,25	-		0,39	0,55	2,12	2,30				
		2-3,00	MNP	-	2,25	1,60	4,10	-		0,14	0,55	0,78	0,56				
		2,20	Nivel Freático														
		3,00-5,00		SM	1,91	1,60	4,70	28,00	0,36			1,71	1,23				
				SM	2,55	1,60	5,30	28,00	0,38			2,03	1,46				
		5,00-6,00	CL	-	3,56	1,70	5,95			0,19	0,55	1,03	0,74				
		6,00-7,00	MH	-	13,54	1,90	6,75			2,22	0,483	10,70	7,73				
		7,00-8,00	ML	-	7,13	1,80	7,60			0,33	0,55	1,81	1,31				
		8,00-9,00		SM	20,66	2,00	8,00	34,00	0,87					15,77	133,446	5,54	
													Qlimite qp	322,917	133,446	T/m2	

Método LCPC

DATOS:

DIAMETRO (M)	0,23
--------------	------

PROFUNDIDAD (m)		Resistencia a la punta (MPa)	TIPO DE SUELO	α_s	qs	Qs
INTERVALO		qc			T/m2	T
0	0,6	1,46	arena limosa a limo arenoso	0,01	1,49	0,65
0,6	0,8	2,52	limo arcilloso a arcilla limosa	0,03	6,42	0,93
0,8	1,2	1,68	arcilla	0,03	3,57	1,03
1,2	1,4	0,96	material organico	0,03	1,53	0,22
1,4	2	0,48	arcilla	0,03	1,53	0,66
2	2,2	0,53	material organico	0,03	1,53	0,22
2,2	2,6	0,47	arcilla	0,03	1,53	0,44
2,6	2,8	1,19	limo arenoso a limo arcillo	0,03	3,03	0,44
2,8	3,2	1,38	arcilla	0,03	3,52	1,02
3,2	3,4	2,69	arcilla limosa a arcilla	0,03	3,57	0,52
3,4	3,6	5,70	arena limosa a limo arenosa	0,01	5,81	0,84
3,6	3,8	7,35	arena arena limosa	0,01	7,49	1,08
3,8	4	6,20	arcilla limosa a arcilla	0,02	3,57	0,52
4	4,4	7,52	arena arena limosa	0,01	7,67	2,22
4,4	4,6	10,31	arena limosa a limo arenosa	0,01	8,16	1,18
4,6	4,8	9,27	limo arenoso a limo arcillo	0,03	3,57	0,52
4,8	5	10,27	arena	0,01	8,16	1,18
5	5,2	11,07	limo arenoso a limo arcillo	0,03	3,57	0,52
5,2	5,4	11,57	arena arena limosa	0,01	8,16	1,18
5,4	5,6	11,08	suelo fino muy rigido	0,02	3,57	0,52
5,6	5,8	11,08	arena limosa a limo arenosa	0,01	8,16	1,18
5,8	6	8,28	arcilla	0,02	3,57	0,52
					Qs	17,56

Almeida - Vargas / Comparación de la capacidad portante de pilotes fundidos in situ, utilizando pruebas de carga y metodologías de cálculo basados en los ensayos SPT y CPT

Método SPT de Meyerhof

PILOTE #2		
L:	8	m
Díametro	0,23	m
Area del pilote	= 0,0416	m ²
(Presion atmosferica)Pa	10,197162	T/m ²

		TIPO DE SUELO		#GOLPES CORREGIDO	Factor empirico de friccion del pilote	Factor empirico de capacidad en punta	Cohesión no drenada	Factor empirico de adhesión	Cap por Fricción	Resist por Fric.	Cap por Punta	Resist por Punta	Carga Ultima		
SONDEO	Estrato	COHESIVO	GRANULAR	N1 60	ks	kb	Su kg/cm2	α	qs (t/m2)	Qs (t)	qp (t/m2)	Qp (t)	(t)		
1	OP	Relleno	SM	28,69	0,01	-			3,09	1,12			27,26		
		0,5-2,00	ML	-	9,56		-	0,39	1,00	3,86	4,18				
		2,00-3,00	MNP	-	3,51		-	0,14	1,00	1,42	1,03				
		2,20	Nivel Freático												
		3,00-5,00		SM	2,79	0,01	-			0,30	0,22				
				SM	3,50	0,01	-			0,38	0,27				
		5,00-6,00	CL	-	4,62		-	0,19	1,00	1,86	1,35				
		6,00-7,00	MH	-	16,48		-	2,22	0,28	6,21	4,49				
		7,00-8,00	ML	-	8,17		-	0,33	1,00	3,30	2,38				
		8,00-9,00		SM	22,78	0,01	1,20				15,03	294,194		12,22	

FACTOR	ARENA	UNIDADES
Ks	0,01	t/pie2
Kb	1,2	t/pie2

Método Api

PILOTE #3		
L:	8,3	m
Diametro	0,23	m

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												</	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--

Valores limite			
δ	Nq	kg/cm2	T/M2
15	8	19	190
20	12	29	290
25	20	48	480
30	40	96	960
35	50	120	1200
31,00	42		1008

Método de Meyerhof

PILOTE #3		
L:	7,3	m
Diametro	0,23	m

7,5	m
0,23	m

SONDEO		TIPO DE SUELO		CORREGIDO GOLPES N1 60	t/m3 PESO ESP γ	t/m2 Esf. Efec Vertical σ'	phi φ	Ang. Fric entre suelo y pilote δ= 0,8xφ	Coef. Empuje Ko	Cohesión no drenada Su kg/cm2	Factor empírico de adhesión α	Cap por Fricción qs (t/m2)	Resist por Fric. Qs (t)	Cap por Punta qp (t/m2)	Resist por Punta Qp (t)	Carga Última (t)		
		COHESIVO	GRANULAR															
3	OP	Relleno	SM		1,80	1,17	28	22,4	0,531			0,26	0,24			26,18		
		1,3-3,3	ML	-	13,11	1,80	4,14	-	-	-	0,53	0,78	4,13	5,97				
		3,3-4,3	MH	-	2,06	1,60	6,74	-	-	-	0,28	1,00	2,77	2,00				
		4,3-5,3	ML		30,80	1,60	8,34				1,24	0,36	4,48	3,23				
		5,3-6,3		SM	6,46	1,60	9,74	29,00	23,20	0,52			2,15	1,55				
		5,60	Nivel Freático															
		6,3-7,3	MH	-	15,01	1,70	10,39				2,02	0,28	5,66	4,09				
		7,3-8,3		SM	30,98	1,90	10,74	36,00	28,80	0,41				17,08	601,44		9,10	
												Qpunta limite VALOR OP	219 219	[T/m2]				

Almeida - Vargas / Comparación de la capacidad portante de pilotes fundidos in situ, utilizando pruebas de carga y metodologías de cálculo basados en los ensayos SPT y CPT

Método FHWA

PILOTE #3		
L:	7,3	m
Diametro	0,23	m
(Presion atmosferica)Pa	10,197	T/m2

		TIPO DE SUELO		GOLPES CORREGIDO	PESO ESP (T/m3)	Esf. Efec Vertical (T/m2)	phi	Coefficiente de resistencia lateral	Cohesión no drenada	Factor empírico de adhesión	Cap por Fricción	Resist por Fric.	Cap por Punta	Resist por Punta	Carga Ultima		
SONDEO		Estrato	COHESIVO	GRANULAR	N 60	γ	σ'	φ	β	Su kg/cm2	α	qs (t/m2)	Qs (t)	qp (t/m2)	Qp (t)	(t)	
3		Relleno		SM	1,69	1,80	1,17	28	0,67			0,78	0,73			30,02	
		1,3-3,3	ML	-	8,44	1,80	4,14	-		0,53	0,55	2,91	4,21				
		3,3-4,3	MH	-	1,69	1,60	6,74	-		0,28	0,55	1,52	1,10				
		4,3-5,3	ML		28,13	1,60	8,34			1,24	0,55	6,84	4,94				
		5,3-6,3		SM	6,38	1,60	9,74	29,00	0,42			4,05	2,92				
		5,60	Nivel Freático														
		6,3-7,3	MH	-	15,30	1,70	10,39			2,02	0,502	10,14	7,33				
		7,3-8,3		SM	32,78	1,90	11,19	36,00	0,94				21,23	211,672	8,79		
		QP											Qlímite qp	322,917 211,672			

Método LCPC

DATOS:

DIAMETRO (M)	0,23
--------------	------

PROFUNDIDAD (m)		Resistencia a la punta (MPa)	TIPO DE SUELO	α_s	qs	Qs
INTERVALO		qc			T/m2	T
0	0,4	2,61	arena limosa a limo arcillas	0,010	2,66	0,77
0,4	2	1,70	arcilla	0,025	3,57	4,13
2	2,6	0,53	material organico	0,033	1,53	0,66
2,6	2,8	0,64	arcilla	0,033	1,53	0,22
2,8	3	1,14	limo arenoso a limos arcilloso	0,025	2,91	0,42
3	3,4	1,68	limo arcilloso a arcillosa limosa	0,025	3,57	1,03
3,4	3,8	11,06	arena limosa a limo arenosa	0,010	8,16	2,36
3,8	4	19,05	arena a arena limosa	0,006	11,66	1,69
4	4,2	22,06	arena	0,006	12,24	1,77
					Qs	13,05

Método SPT de Meyerhof

PILOTE #3		
L:	7,3	m
Díametro	0,23	m
Area del pilote	= 0,0416	m2
(Presion atmosferica)Pa	10,197	T/m2

a)Pa		10,197		T/m2										
		TIPO DE SUELO		#GOLPES CORREGIDO	Factor empirico de friccion del pilote	Factor empirico de capacidad en punta	Cohesión no drenada	Factor empírico de adhesión	Cap por Fricción	Resist por Fric.	Cap por Punta	Resist por Punta	Carga Ultima	
SONDEO	Estrato	COHESIVO	GRANULAR	N1 60	ks	kb	Su kg/cm2	α	qs (t/m2)	Qs (t)	qp (t/m2)	Qp (t)	(t)	
1	Relleno		SM	2,87	0,01	-			0,31	0,29			32,38	
	1,3-3,3	ML	-	13,11		-	0,53	0,78	4,13	5,97				
	3,3-4,3	MH	-	2,06		-	0,28	1,00	2,77	2,00				
	4,3-5,3	ML		30,80			1,24	0,36	4,48	3,23				
	5,3-6,3		SM	6,46	0,01	-			0,70	0,50				
	5,60	Nivel Freático												
	6,3-7,3	MH	-	15,01		-	2,02	0,28	5,66	4,09				
	7,3-8,3		SM	30,38		1,20				16,08	392,390	16,30		

FACTOR	ARENA	UNIDADES
Ks	0,01	t/pie2
Kb	1,2	t/pie2

Método Api

PILOTE #4		
L:	8,3	m
Díametro	0,23	m

8,5	m
0,23	m

		TIPO DE SUELO		CORREGIDO	t/m3	t/m2	Ang. Frici			Cohesión	Factor					Carga	Carga			
SONDEO		COHESIVO	GRANULAR	GOLPES	PESO ESP	Esf. Efec Vertical	phi	entre suelo	Coef. Empuje	no drenada	empírico de	Cap por Fricción	Resist por Fric	Cap por Punta	Resist por Punta	Admisible (t)	Última (t)			
				N1 60	γ	σ'	φ	y pilote	K_0	Su kg/cm2	α	q_s (t/m2)	Q_s (t)	q_p (t/m2)	Q_p (t)					
3		Relleno	SM		1,80	1,17	28,00	23,00	0,53			0,26	0,25			7,34	22,03			
		1,3-3,3	ML	-	13,11	1,80	4,14	-	-	0,53	0,47	2,49	3,60							
		3,3-4,3	MH	-	2,06	1,60	6,74	-	-	0,28	0,78	2,16	1,56							
		4,3-5,3	ML		30,80	1,60	8,34			1,24	0,45	5,63	4,07							
		5,3-6,3		SM	6,46	1,60	9,74	29,00	24,00	0,52		2,23	1,61							
		5,60	Nivel Freático																	
		6,3-7,3	MH	-	15,01	1,70	10,39	-	-	2,02	0,42	8,55	6,18							
		7,3-8,3		SM	30,98	1,90	11,19	36,00	31,00	0,41			2,77	2,00						
		8,3-9,3	MNP	-	18,33	1,90	11,64				0,74			19,27	66,597			2,77		
		OP																		

Método de Meyerhof

PILOTE #4		
L:	8,3	m
Díametro	0,23	m

		E. 34		8,3		m												
				0,23		m												
SONDEO		TIPO DE SUELO		CORREGIDO GOLPES N1 60	t/m3 PESO ESP γ	t/m2 Esf. Efec Vertical σ'	phi ϕ	Ang. Fricci entre suelo y pilote $\delta=0,8x\phi$	Coef. Empuje Ko	Cohesión no drenada Su kg/cm2	Factor empírico de adhesión α	Cap por Fricción qs (t/m2)	Resist por Fric. Qs (t)	Cap por Punta qp (t/m2)	Resist por Punta Qp (t)	Carga Última (t)		
		COHESIVO	GRANULAR															
3	OP	Relleno	SM		1,80	1,17	28	22,4	0,531			0,26	0,24			21,68		
		1,3-3,3	ML	-	13,11	1,80	4,14	-	-	0,53	0,78	4,13	5,97					
		3,3-4,3	MH	-	2,06	1,60	6,74	-	-	0,28	1,00	2,77	2,00					
		4,3-5,3	ML		30,80	1,60	8,34			1,24	0,36	4,48	3,23					
		5,3-6,3		SM	6,46	1,60	9,74	29,00	23,20	0,52		2,15	1,55					
		5,60	Nivel Freático															
		6,3-7,3	MH	-	15,01	1,70	10,39			2,02	0,28	5,66	4,09					
		7,3-8,3		SM	30,98	1,90	11,19	36,00	28,80	0,41		2,54	1,83					
		8,3-9,3	MNP	-	18,33	1,90	11,64			0,74			18,91	66,60	2,77			

Método de FHWA

PILOTE #4		
L:	8,3	m
Diametro	0,23	m
(Presion atmosferica)Pa	10,197	T/m2

		TIPO DE SUELO		GOLPES CORREGIDO	PESO ESP (T/m3)	Esf. Efec Vertical (T/m2)	phi	Coficiente de resistencia lateral	Cohesión no drenada	Factor empírico de adhesión	Cap por Fricción	Resist por Fric.	Cap por Punta	Resist por Punta	Carga Última		
SONDEO		ESTRATO	COHESIVO	GRANULAR	N 60	γ	σ'	φ	β	Su kg/cm2	α	qs (t/m2)	Qs (t)	qp (t/m2)	Qp (t)	(t)	
3	OP	Relleno		SM	1,69	1,80	1,17	28	0,67			0,78	0,73			31,59	
		1,3-3,3	ML	-	8,44	1,80	4,14	-		0,53	0,55	2,91	4,21				
		3,3-4,3	MH	-	1,69	1,60	6,74	-		0,28	0,55	1,52	1,10				
		4,3-5,3	ML		28,13	1,60	8,34			1,24	0,55	6,84	4,94				
		5,3-6,3		SM	6,38	1,60	9,74	29,00	0,42			4,05	2,92				
		5,60			Nivel Freático												
		6,3-7,3	MH	-	15,30	1,70	10,39			2,02	0,502	10,14	7,33				
		7,3-8,3		SM	32,78	1,90	11,19	36,00	0,94			10,51	7,59				
		8,3-9,3	MNP	-	19,95	1,90	11,64			0,74		28,82	66,597	2,77			
		QP															

Método LCPC

DATOS:

DIAMETRO (M)	0,23
--------------	------

PROFUNDIDAD (m)		Resistencia a la punta (MPa)	TIPO DE SUELO	α_s	qs	Qs
INTERVALO		qc			T/m2	T
0	0,4	2,61	arena limosa a limo arcillas	0,010	2,66	0,77
0,4	2	1,70	arcilla	0,025	3,57	4,13
2	2,6	0,53	material organico	0,033	1,53	0,66
2,6	2,8	0,64	arcilla	0,033	1,53	0,22
2,8	3	1,14	limo arenoso a limos arcilloso	0,025	2,91	0,42
3	3,4	1,68	limo arcilloso a arcillosa limosa	0,025	3,57	1,03
3,4	3,8	11,06	arena limosa a limo arenosa	0,010	8,16	2,36
3,8	4	19,05	arena a arena limosa	0,006	11,66	1,69
4	4,2	22,06	arena	0,006	12,24	1,77
					Qs	13,05

Método SPT de Meyerhof

PILOTE #4		
L:	8,3	m
Díametro	0,23	m
Area del pilote	= 0,0416	m2
(Presion atmosferica)Pa	10,197	T/m2

iPa		10,197		T/m2											
		TIPO DE SUELO		#GOLPES CORREGIDO	Factor empírico de fricción del pilote	Cohesión no drenada	Factor empírico de adhesión	Cap por Fricción	Resist por Fric.	Cap por Punta	Resist por Punta	Carga Ultima			
SONDEO		Estrato	COHESIVO	GRANULAR	N1 60	ks	Su kg/cm2	α	qs (t/m2)	Qs (t)	qp (t/m2)	Qp (t)	(t)		
1	OP	Relleno		SM	2,87	0,01			0,31	0,29			21,26		
		1,3-3,3	ML	-	13,11		0,53	0,78	4,13	5,97					
		3,3-4,3	MH	-	2,06		0,28	1,00	2,77	2,00					
		4,3-5,3	ML		30,80		1,24	0,36	4,48	3,23					
		5,3-6,3		SM	6,46	0,01			0,70	0,50					
		5,60	Nivel Freático												
		6,3-7,3	MH	-	15,01		2,02	0,28	5,66	4,09					
		7,3-8,3		SM	30,98	0,01			3,34	2,41					
		8,3-9,3	MNP	-	18,33		0,74			18,49	66,60	2,77			

FACTOR	ARENA	UNIDADES
Ks	0,01	t/pie2
Kb	1,2	t/pie2